



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE
CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN UNA INDUSTRIA TEXTIL**

Julio César Tevelán Pérez

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE
CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN UNA INDUSTRIA TEXTIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIO CÉSAR TEVELÁN PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldana
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN UNA INDUSTRIA TEXTIL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de septiembre de 2013.



Julio César Tevelán Pérez



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala 18 de junio de 2,015

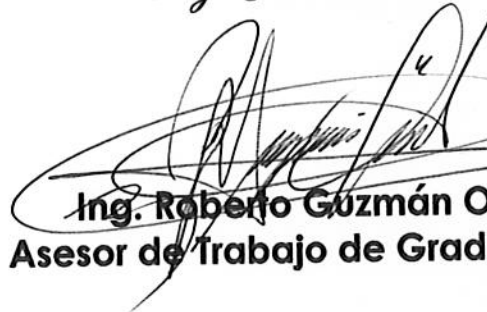
Ingeniero
JULIO CÉSAR CAMPOS PAIZ
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, USAC

Ing. Campos.

Por este medio informo que ha finalizado la etapa de asesoría del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN LA INDUSTRIA TEXTIL**, realizado por el estudiante **Julio César Tevelán Pérez**, considerando que cumple con el contenido y objetivos propuestos en el protocolo aprobado por la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Atentamente,

Id y Enseñad a Todos



Roberto Guzmán Ortiz
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 4466

Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Asesor de Trabajo de Graduación

c.c Archivo
RG/mjm



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala


Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.186.2015

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN LA INDUSTRIA TEXTIL**. Del estudiante **Julio César Tevelán Pérez**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador del Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, junio de 2015.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecánica.210.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN UNA INDUSTRIA TEXTIL** del Estudiante **Julio César Tevelán Pérez**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



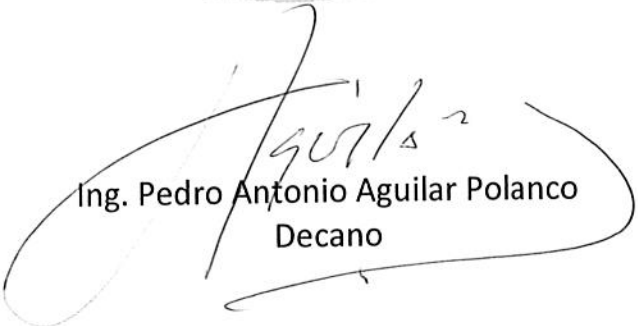
Guatemala, julio de 2015
/aej



DTG. 373 .2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON ACEITE TÉRMICO EN UNA INDUSTRIA TEXTIL**, presentado por el estudiante universitario: **Julio César Tevelán Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, 31 de julio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuente de todo entendimiento y sabiduría, para ver realizado un sueño el día de hoy.
Mis padres	César Tevelán y Marta Pérez, por todo su amor, apoyo, comprensión y motivación en los momentos difíciles.
Mi hermano	Hugo Tevelán, por ser mi mejor amigo y un gran apoyo en mi carrera.
Mis hermanas	Wendy e Idania Tevelán, por ser una fuente de inspiración para seguir adelante en este duro camino.
Emilio Flores	Por ser una importante influencia tanto en mi carrera como en mi vida (q. e. p. d.).
Mis amigos	Por todo su apoyo y sabios consejos que en determinados momentos supieron dar.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida.
Mis padres	Por haber sido el punto de apoyo más importante en mi vida.
Mis hermanos	Por toda su comprensión y la ayuda que me brindaron en momentos importantes.
Mis familiares	Por todos los buenos deseos que siempre han tenido hacia mi persona.
Mis amigos	Por todo el apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Conducción.....	1
1.1.1. Conductividad térmica	2
1.2. Convección.....	3
1.2.1. Convección natural	4
1.2.2. Convección forzada	4
1.3. Radiación.....	4
1.4. Transferencia de calor con aceite térmico	5
1.4.1. Ventajas de los sistemas de aceite térmico	5
1.4.2. Desventajas de los sistemas de aceite térmico	6
1.5. Aplicaciones de sistemas de aceite térmico	6
2. PARTES DE UN SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO	9
2.1. Calentador	9
2.1.1. Tipos de calentadores	9
2.1.1.1. Calentadores eléctricos	10
2.1.1.2. Calentadores de combustión	11
2.2. Tanque de expansión	13

2.3.	Bombas de recirculación	14
2.4.	Propiedades de los fluidos térmicos.....	16
2.5.	Aislamiento térmico	17
2.5.1.	Tipos de aislamiento térmico.....	17
2.5.1.1.	Fibras minerales.....	18
2.5.1.1.1.	Lana de roca	18
2.5.1.1.2.	Fibra de vidrio	18
2.5.1.1.3.	Fibra cerámica	19
2.5.1.2.	Aislantes térmicos celulares	19
2.5.1.3.	Aislante térmico granular.....	19
2.6.	Tuberías y accesorios	20
2.7.	Pérdidas de calor en sistemas de aceite térmico	20
3.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO	23
3.1.	Diseño del calentador.....	23
3.1.1.	Configuración del serpentín.....	25
3.2.	Selección del aceite térmico.....	25
3.3.	Diseño del tanque de expansión	27
3.4.	Bombas de recirculación	28
3.4.1.	Tipos de bombas de recirculación.....	28
3.4.1.1.	Enfriadas por aire	29
3.4.1.2.	Enfriadas por agua	29
3.5.	Tuberías y accesorios	30
3.5.1.	Juntas de expansión	31
3.5.2.	Filtros.....	33
3.5.3.	Bridas	34
3.5.4.	Válvulas.....	37
3.6.	Aislamiento.....	38

4.	ANÁLISIS DEL PROCESO	41
4.1.	Datos generales de la empresa	41
4.1.1.	Misión	41
4.1.2.	Visión	41
4.1.3.	Productos.....	41
4.1.4.	Procesos de fabricación	42
4.2.	Procesos con aceite térmico.....	43
4.3.	Análisis del sistema de aceite térmico	43
4.4.	Análisis de fallas	47
4.4.1.	Cantidad de aceite térmico	59
4.5.	Programa de mantenimiento preventivo	62
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
5.1.	Análisis de resultados.....	65
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Conductividad térmica de algunos materiales.....	2
2.	Calentador eléctrico	10
3.	Calentador con quemador de combustión.....	12
4.	Tanques de expansión	13
5.	Bomba de recirculación	15
6.	Esquema de temperatura de película dentro de la tubería.....	24
7.	Bomba de recirculación enfriada por agua.....	29
8.	Juntas de expansión	32
9.	Filtros	33
10.	Tipos de bridas.....	35
11.	Relación presión – temperatura para selección de bridas.....	36
12.	Válvulas.....	37
13.	Diagrama circuito de aceite térmico	44
14.	Tubería ramal de aceite térmico sin aislante	47
15.	Tubería principal de aceite térmico sin aislante	48
16.	Diagrama de capas de aislamiento en tubería	50
17.	Tubería de 8 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor.....	53
18.	Tubería de 6 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor.....	54
19.	Tubería de 4 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor.....	54
20.	Tubería de 3 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor.....	55
21.	Tubería de 2,5 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor.....	55
22.	Tubería de 2 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor.....	56
23.	Tubería de 1 pulgada, cañuela 1,5 pulgadas de espesor.....	56

TABLAS

I.	Principales telas fabricadas	42
II.	Máquinas que utilizan aceite térmico	45
III.	Potencia instalada.....	46
IV.	Potencia utilizada.....	46
V.	Potencia disponible.....	47
VI.	Diámetro de tuberías y sus longitudes.....	48
VII.	Valores constantes para cálculo de aislamiento	49
VIII.	Resumen de resultados	57
IX.	Inversión de aislamiento para tubería	58
X.	Cálculo de ahorro en los distintos diámetros de tubería	58
XI.	Cálculo de volumen de aceite en la tubería	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
yr	Años
A	Área superficial
Btu/h	Cantidad de energía calorífica por hora en unidades británicas
k	Conductividad térmica
d	Dilatación de tubería
P	Empuje sobre puntos de fijación
Gal	Galones
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
K	Grados Kelvin
L	Longitud
ft	Medida de longitud en pies
m	Metro
m ³	Metro cúbico
E	Módulo de elasticidad
\$	Moneda de dólar
Q	Moneda de quetzales
Kw	Potencia
T	Temperatura
V	Volumen
W	Watts

GLOSARIO

Asbesto	Fibra mineral resistente al calor y al ácido; se utiliza para empaquetadura en tuberías, aislamiento acústico y térmico.
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, por sus siglas en inglés) regula normas de diseño, instalación, construcción y pruebas de equipo.
Aspersión	Esparcimiento de agua u otro líquido en forma de pequeñas gotas.
Bomba	Máquina hidráulica que se utiliza para impulsar, extraer o elevar un líquido de un lugar a otro.
Cavitación	Formación de burbujas de vapor en un líquido inicialmente homogéneo.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico con su entorno.
Densidad	Cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que este ocupa.

DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización, por sus siglas en alemán). Son estándares técnicos para el aseguramiento de calidad en productos industriales en Alemania.
Eficiencia	Capacidad de realizar una actividad o un proceso, con la menor cantidad de recursos posibles.
Energía cinética	Es la energía que posee un cuerpo debido a su movimiento.
Expansión	Aumento del volumen en fluidos debido al calor que este posee.
Fusión	Cambio de un cuerpo de estado sólido a estado líquido por cambios en la temperatura.
Grafito	Mineral de carbono casi puro, color negro, graso al tacto y buen conductor de electricidad.
Helicoidal	Que tiene forma de hélice o colocado en forma de espiral.
ISO	International Organization of Standardization (Organización internacional de normalización, por sus siglas en inglés). Desarrolla normas internacionales para productos, servicios, procesos, materiales y sistemas.

Potencia	Capacidad para realizar una función o una acción determinada.
Rendimiento	Proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y los resultados que se consiguen.
Serpentín	Tubo hueco en forma de espiral que se utiliza para realizar procesos de transferencia de calor por convección.
Software	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

RESUMEN

Hoy en día es muy importante para las empresas el ahorro económico en los procesos de producción, ya que consiguiendo esto se logra hacer a la empresa más eficiente y competitiva en el mercado, tanto nacional como internacional, por lo que las empresas se ven obligadas a optar por sistemas más eficientes y que reduzcan los costos y mejoren los tiempos de producción.

En los sistemas de aceite térmico el fluido que transporta el calor es un aceite con baja viscosidad, resistente a la oxidación; el cual, como propiedad principal, tiene que soportar altas temperaturas; estos sistemas son más simples de utilizar cuando se comparan con los de vapor de agua, ya que para alcanzar temperaturas de 300 °C se necesita mucha presión lo que exige una caldera de mucha más capacidad; se evita también el tratamiento de agua para eliminar los desechos sólidos, uso de trampas termodinámicas, entre otros.

El objetivo principal de esta investigación está basado en incrementar la eficiencia del sistema evitando la pérdida de calor en el transporte del fluido hacia las máquinas que lo utilizan, por lo que se realizaron mediciones de temperatura con uso de cámara termográfica y mediciones de tubería para determinar la cantidad de energía perdida a través de software y proponer una solución que sea factible para la empresa que represente ahorro económico, energético, ayudando a mejorar tiempos en los procesos y eficiencia en el sistema.

OBJETIVOS

General

Proponer mejoramiento en la utilización del calor para realizar un ahorro energético a través de reparaciones que sean necesarias. Incrementar la eficiencia del sistema obteniendo mejores resultados en los procesos de producción y reducir el tiempo perdido de la maquinaria en el proceso de calentamiento.

Específicos

1. Identificar las causas de pérdidas de temperatura en el proceso de calentamiento.
2. Determinar la cantidad necesaria y propiedades del aceite en el sistema, para un mejor calentamiento.
3. Proponer mejoramiento en las instalaciones mecánicas del sistema.
4. Reducir el consumo de combustible en el calentador.
5. Reducir tiempo de calentamiento de la maquinaria.

INTRODUCCIÓN

Al haber pérdidas de calor debido a tuberías sin aislamiento, las corrientes de aire están presentes. Dado que el cuarto de máquinas se encuentra sin paredes refractarias y tuberías que pudieran encontrarse sucias por residuos, esto provocaría una mala circulación del aceite en el sistema; sumando a esto las fugas de aceite debido a que tienen muchos accesorios en mal estado, las mismas han provocado que el sistema se encuentre incompleto de aceite; si cuando se agrega aceite no se cambia el dañado, esto provoca que tengan un aceite con malas propiedades para la operación del sistema.

Todos los factores antes mencionados provocan pérdidas de calor en el sistema y lo hacen ineficiente; esto afecta directamente a los procesos de producción debido a atrasos en los mismos, así como también malos procesos, costos de operación elevados; el consumo del combustible aumenta debido al desperdicio de energía calorífica que se pierde en el sistema; esto provocará un mal calentamiento de la máquina y llevará a tener malos procesos de producción. Por lo tanto se ayudará a identificar las causas que provocan el funcionamiento incorrecto del mismo, con el objetivo primordial de aumentar la eficiencia del sistema y ayudar a reducir los costos de operación en cuanto a los productos fabricados.

1. GENERALIDADES

En la industria, la utilización del calor es el recurso más utilizado en el intercambio de energía para fabricar un producto o realizar un proceso final, por lo que se ha convertido en un tema de investigación con mucha relevancia dentro del ámbito ingenieril, ya que busca ahorro energético, económico y aumento de eficiencia en los procesos o métodos utilizados para el intercambio de calor o entrega de energía, en procura del producto final, que será utilizado para facilitar y ayudar la vida humana.

Se puede definir la transferencia de calor como el proceso donde existe un intercambio de energía calorífica de un cuerpo con mayor energía a uno de menor cantidad de calor; este intercambio se puede llevar a cabo a través de tres formas: conducción, convección y radiación. Estas siguen la ley de la termodinámica que indica que la temperatura se transfiere de un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura.

1.1. Conducción

Este proceso sucede cuando dos cuerpos entran en contacto y se da una transferencia de calor entre ellos, sin que exista un intercambio de materia entre los mismos; puede mencionarse como ejemplo, cuando se coloca una olla en la hornilla con fuego, el calor empieza a ser conducido por toda la superficie de la olla hasta que esta se calienta en su totalidad.

Los materiales que poseen mejores propiedades para la conducción de calor son los metales y por lo general en cuerpos continuos; existen también

materiales con poca capacidad como los polímeros y otros con menor capacidad, que son materiales especiales como la fibra de vidrio, que por sus propiedades son llamados aislantes térmicos.

1.1.1. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales, la cual indica la capacidad que posee un material para transmitir o conducir calor; a continuación se presenta la figura 1, con los valores de conductividad térmica (k), para algunos materiales de uso común.

Figura 1. Conductividad térmica de algunos materiales

Tabla I-I Conductividad térmica de diversos materiales en 0 °C		
Material	Conductividad térmica k	
	W/m °C	Btu/h·pie· °F
Metales:		
Plata (pura)	420	237
Cobre (puro)	385	223
Aluminio (puro)	202	117
Níquel (puro)	93	54
Hierro (puro)	73	42
Acero al carbón, 1% C	43	25
Plomo (puro)	35	20.3
Acero cromo-níquel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Sólidos no metálicos:		
Cuarzo, paralelo al eje	41.6	24
Magnesita	4.15	2.4
Mármol	2.08-2.94	1.2-1.7
Arena	1.83	1.06
Vidrio de ventana	0.78	0.45
Arce o roble	0.17	0.096
Aserrín	0.059	0.034
Fibra de vidrio	0.038	0.022
Líquidos:		
Mercurio	8.21	4.74
Agua	0.556	0.327
Amoníaco	0.540	0.312
Aceite lubricante, SAE 50	0.147	0.085
Freón 12, CCl_2F_2	0.073	0.042
Gases:		
Hidrógeno	0.175	0.101
Helio	0.141	0.081
Aire	0.024	0.0139
Vapor de agua (saturado)	0.0206	0.0119
Dióxido de carbono	0.0146	0.00844

Fuente: HOLMAN, J. P. *Transferencia de calor*. p. 24.

1.2. Convección

El proceso de convección se caracteriza por hacer circular un fluido líquido o gaseoso para transportar la energía en puntos con diferente temperatura. El caso de la olla que se calienta es un ejemplo de la transferencia de calor por conducción, ya que el agua de abajo que está más caliente se empieza a mover hacia arriba y la de arriba empieza a ocupar el espacio de abajo. Otro ejemplo puede ser el de los fluidos que se transportan a través de tuberías como el vapor, o en este caso el aceite térmico, pueden calentar serpentines o intercambiadores de calor para realizar procesos dentro de la industria.

La potencia calorífica que se transfiere por el proceso de convección se puede expresar matemáticamente como:

$$q_c = \lambda A (T_s - T_\infty) \quad [\text{Ec. 1}]$$

Siendo:

q_c = potencia calorífica por convección

λ = coeficiente de transferencia de calor por convección

T_s = temperatura de la superficie

T_∞ = temperatura del fluido lejos del punto de superficie

A = área de la superficie

Cabe mencionar que dentro de la convección existen dos divisiones que se conocen como: convección natural y convección forzada.

1.2.1. Convección natural

Se da cuando una fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura.

El fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a la diferencia de densidades, sin que ninguna fuerza motriz exterior sea necesaria, para ejemplificar se puede utilizar el caso antes dado del agua caliente, que cuando empieza a cambiar su temperatura, el agua fría empieza a moverse hacia abajo y la caliente hacia arriba.

1.2.2. Convección forzada

Esta, a diferencia de la natural necesita una fuerza motriz exterior para que se produzca el movimiento del fluido con una velocidad (v), sobre la superficie que se encuentra a una temperatura mayor o menor a la del fluido; para aumentar esta velocidad es necesario la utilizar bombas o ventiladores para que proporcionen la energía cinética al sistema; cabe mencionar también que como la velocidad en la convección forzada es mucho mayor que en la natural, existe un intercambio mayor de calor en esta.

1.3. Radiación

La transferencia de calor por radiación es el proceso donde la energía es emitida de un cuerpo a otro a través de ondas electromagnéticas; en el caso de la radiación no es necesario que los cuerpos estén en contacto o que exista algún fluido intermedio para que se lleve a cabo dicha transferencia; si se toma

el ejemplo de la olla, no es necesario que exista un contacto, ya que solo con que exista la llama, esta transmitirá el calor a través de la radiación.

1.4. Transferencia de calor con aceite térmico

Los sistemas de calentamiento o transferencia de calor con aceite térmico, también conocidos como sistemas de fluidos térmicos, son los que utilizan aceite con buenas propiedades para elevarlo a temperaturas altas; este aceite es calentado de forma indirecta en estado líquido para ser bombeado hasta los usuarios de dicha energía térmica en un circuito cerrado; las temperaturas alcanzadas en estos sistemas son de 600 °F (316 °C) en aceites naturales y de 800 °F (427 °C) con ciertos aceite sintéticos en condiciones de baja presión.

Estos sistemas son semejantes a los de vapor, dado que también son distribuidos desde un punto de generación, que es la caldera, en estos casos llamado calentador, hasta los diferentes equipos que requieran la utilización de dicha energía, transportándolos por tuberías cubiertas con aislamiento para evitar las pérdidas de calor en el transporte del fluido. Para distribuir el aceite térmico es necesaria la utilización de bombas de recirculación que se encargan de llevar el aceite caliente hasta los equipos que lo necesitan.

1.4.1. Ventajas de los sistemas de aceite térmico

Entre las ventajas de los sistemas que funcionan con aceite térmico se tiene que son mucho más sencillos que los sistemas que trabajan con vapor, ya que en estos sistemas se trabajan presiones bajas, se evita el mantenimiento de trampas de vapor; siendo sistemas cerrados no hay pérdida de fluido, por lo tanto no es necesario un sistema de reposición, como sucede con el agua.

Es importante también mencionar que en estos sistemas no se presentan problemas de corrosión en las tuberías y como es un sistema donde no hay evaporación, las bombas utilizadas para la recirculación no presentan cavitación como en las bombas de alimentación en un sistema con vapor, y su rendimiento es del 12 al 25 % más eficiente.

1.4.2. Desventajas de los sistemas de aceite térmico

Se puede mencionar una circulación de fluido a altas temperaturas en las tuberías, lo cual representa un aislamiento mucho mayor que el utilizado en el vapor; es necesaria también la utilización de bombas para poderlo distribuir en el sistema, recordando que no deben existir fugas en los circuitos debido a que pueden representar quemaduras en el personal y peligros de incendio en el cuarto de los calentadores o en los equipos que utilizan dicho fluido. Debe tomarse en cuenta que para estos sistemas es necesaria la reposición del aceite en un tiempo determinado, lo cual representa una inversión alta; considerando que el mantenimiento sea adecuado e implementado de manera correcta, el aceite funcionaría en un rango de 3 a 5 años.

1.5. Aplicaciones de sistemas de aceite térmico

Es recomendable en los procesos que requieran altas temperaturas y procesos industriales de alta productividad las siguientes aplicaciones:

- Procesos de secado como: pinturas, tintas, cerámicas, tabacos y papel.
- Procesos de manufactura en la industria textil.
- Fabricación en serie de madera prensada.
- Tanques de petróleo.
- Hule, plástico, fibra, etc.

- Generación de vapor sin quemador

Este tema de investigación abarcará aplicaciones de manufactura específicamente en la industria textil, en procesos de ajuste del tamaño de la tela conocido como proceso de acabados, secado de pinturas en el área de estampado de diseños y secado de toalla.

2. PARTES DE UN SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO

2.1. Calentador

También conocido en algunas industrias como caldera de aceite térmico, pero para este trabajo se le llamará calentador. Este es el componente que se encarga de elevar la temperatura al fluido térmico a través de la combustión generada en el centro de la misma, está compuesto por: quemador o resistencias eléctricas, según sea el caso y la aplicación del calentador, controles de temperatura, controles de seguridad del equipo, ventilador, chimenea y panel de control.

2.1.1. Tipos de calentadores

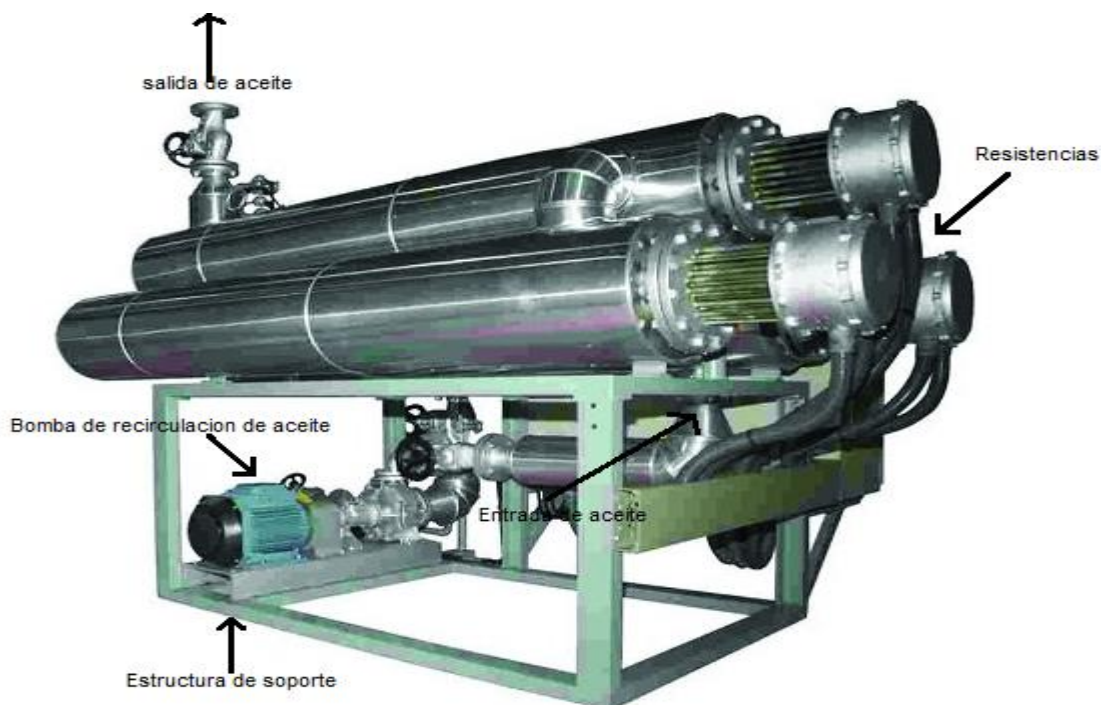
Básicamente se dividen en dos tipos: los eléctricos y los de combustión, los cuales son los de uso más común en la industria donde se desea aplicar este tipo de proceso.

Aunque ambos tienen la misma función, se diferencian únicamente en la manera en que se calienta el fluido; los de combustión utilizan elementos derivados del petróleo (gas, bunker, gasolina, entre otros), lo cual con la ayuda de un ventilador y chispa eléctrica forman una llama; mientras que los otros únicamente utilizan el poder calorífico de las resistencias a través de la corriente eléctrica; la manera más fácil de identificar es que en el primero existe llama y en el segundo no, y dependerá del tamaño del calentador.

2.1.1.1. Calentadores eléctricos

El cuerpo de la caldera, en este caso, generalmente corresponde carcasas cilíndricas dentro de las cuales están instaladas las resistencias por lado dentro, unidas por bridas hasta cerrar todo el recipiente donde se pondrá el aceite para ser elevado a la temperatura deseada; para esto es necesario solamente encender el panel eléctrico y las resistencias entrarán en funcionamiento; la potencia térmica de estos calentadores viene dada por la potencia de las resistencias. En la figura 2 se presenta un calentador de tres etapas con resistencias.

Figura 2. Calentador eléctrico



Fuente: Pirobloc, www.piroblocmexico.com.mx. Consulta: 12 enero 2014.

2.1.1.2. Calentadores de combustión

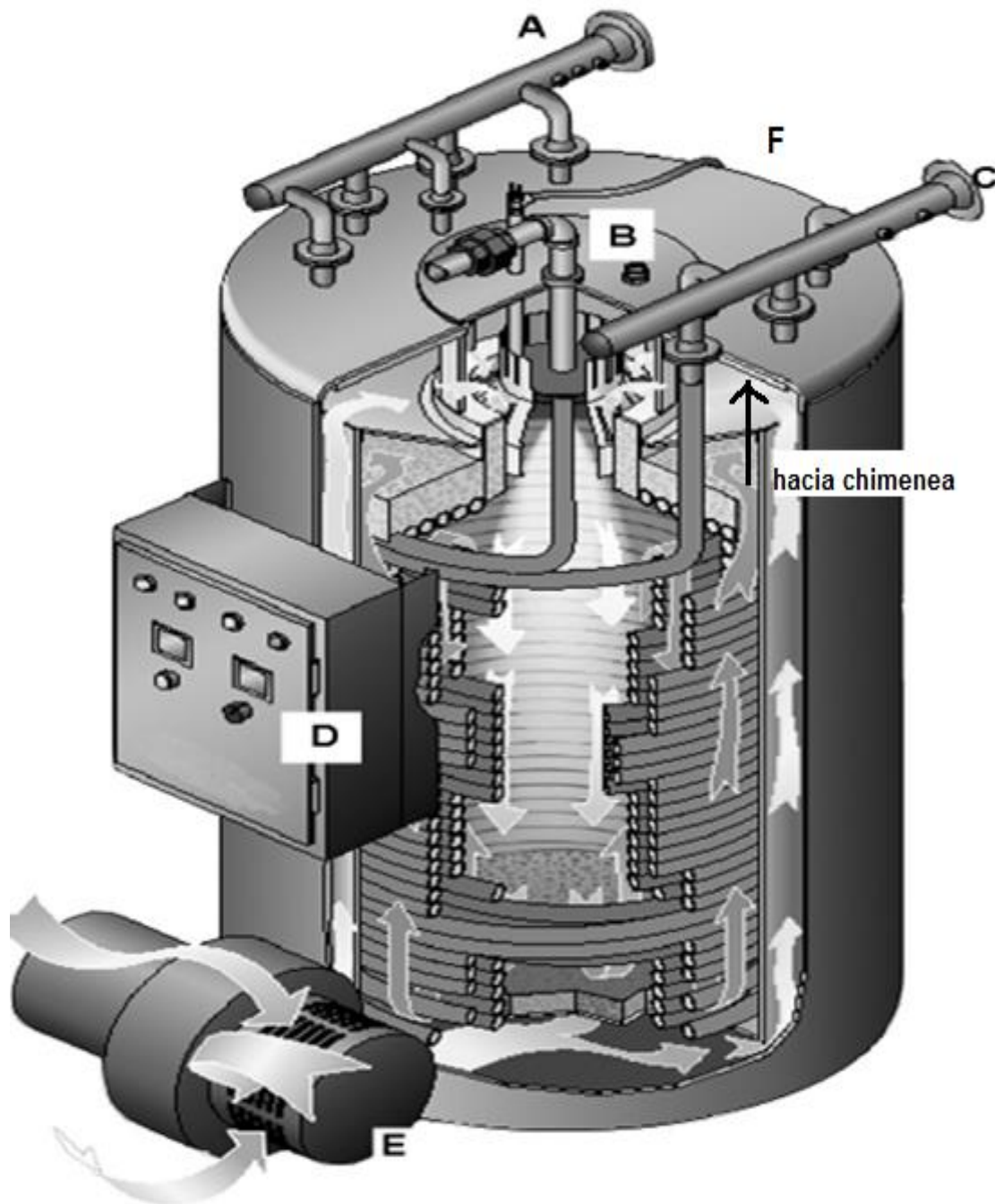
Como se explicó anteriormente, estos calentadores constan principalmente de un calentador en el cual se atomiza un combustible que produce una llama con la ayuda de una chispa eléctrica y el aire generado por un ventilador. Este tipo de calentador es el más utilizado en la industria textil, por lo que más se hará un enfoque a su estudio, ya que es el campo donde se desea realizar trabajos que mejoren la eficiencia del sistema actual.

Este se compone de un quemador que genera una llama que se expande en el centro de la caldera, los gases de la combustión circulan entre el serpentín; el primer paso lo produce la llama en el hogar del calentador; el segundo, de abajo hacia arriba, por el anillo inferior del serpentín; el tercer paso se da de arriba hacia abajo entre los anillos del serpentín y por último los gases viajan de abajo hacia arriba por el lado trasero del último anillo de tubos, para ser expulsado por la chimenea. Los factores que más influyen en el flujo de calor son los siguientes:

- Velocidad del fluido
- Viscosidad
- Calor específico
- Conductividad térmica
- Gravedad específica
- Diámetro de los tubos

En la figura 3 se observa un calentador con fuego directo de cuatro pasos, en el cual se indican las partes principales que lo conforman.

Figura 3. Calentador con quemador de combustión



Fuente: MENDOZA SANDOVAL, Ricardo Antonio. *Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor*, p. 10.

Las partes señaladas son:

- A: entrada del aceite térmico
- B: quemador
- C: salida del aceite térmico
- D: panel de control eléctrico
- E: motor ventilador para la combustión
- F: chimenea

2.2. Tanque de expansión

El aceite térmico, como cualquier otro fluido, se expande con el aumento de la temperatura; esta expansión puede variar dependiendo del tipo de aceite que se esté utilizando; para tener un cálculo aproximado del volumen de aceite que contiene el recipiente se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje aumento volumen (\%)} = 0,035 * (\text{aumento de T en } ^\circ\text{C}) \quad [\text{Ec. 2}]$$

Figura 4. Tanques de expansión



Fuente: Powermaster, www.powermaster.com.mx/productos/tanques. Consulta: 16 de enero de 2014.

Se puede decir entonces que el tanque de expansión es el encargado de dar cabida al incremento del volumen que sufre el aceite, debido al calentamiento excesivo. Este debe estar dimensionado conforme al volumen de aceite total que es utilizado en el sistema.

El tanque de expansión debe funcionar como un sello frío que permita una larga vida útil del aceite; se debe evitar el contacto del aceite caliente con el aire de la atmósfera. En la industria se pueden encontrar tanques con venteo y sin venteo; si el tanque cuenta con venteo a la atmósfera será necesario que la temperatura del aceite no exceda de los 54 °C.

Para los tanques sin venteo a la atmósfera se deben utilizar gases inertes como el nitrógeno, para mantener una presión leve en el tanque y evitar la oxidación del aceite al entrar en contacto con el aire.

Cuando se enfría el aceite se produce una condensación debido al agua contenida en el aire caliente, esta por la diferencia de densidades con el aceite, descenderá a la parte más baja del tanque, por lo que se recomienda colocar un drenaje en la parte inferior del mismo para que pueda drenar el agua existente en el mismo.

2.3. Bombas de recirculación

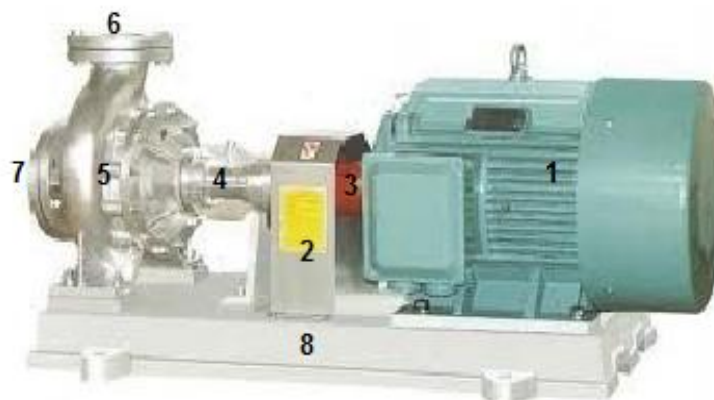
Es la encargada de hacer circular el aceite caliente por todo el sistema; deber ser dimensionada de tal forma que puede proporcionar a cada equipo el caudal necesario y vencer todas las pérdidas que se puedan presentar, según sea el diseño de las tuberías instaladas en el sistema.

Generalmente para estos tipos de sistemas se utilizan las bombas del tipo centrífugo, ya que no se necesita que haya presiones elevadas en el sistema, sino se requiere más que haya un mayor caudal, de tal forma que ayude a los calentadores a llegar a la temperatura que se necesita en el menor tiempo posible, para evitar pérdidas de tiempo en producción.

Debe ser capaz de soportar las temperaturas de trabajo en el sistema, ya que el fluido que impulsa es aceite caliente, por tal razón el sello mecánico que utilice debe poseer propiedades especiales para evitar la frecuencia de averías en los sellos.

Las bombas deben estar ubicadas aguas arriba de los calentadores y contemplar el tanque de expansión en la succión para poder asegurar una presión positiva, de tal forma que busque evitar la entrada de aire al sistema y de esa manera evitar la oxidación del aceite.

Figura 5. **Bomba de recirculación**



Fuente: Virtual Expo Group, <http://www.directindustry.es/cat/bombas> Consulta: 23 de enero de 2015.

2.4. Propiedades de los fluidos térmicos

Para determinar el aceite ideal para altas temperaturas en el sistema, es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos¹:

- Temperatura de alcance efectivo o temperaturas a las cuales se pueda operar sin degradarse 49 – 316 °C (120 – 600 °F).
- La presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura es de un máximo de 4.720 psi a 315 °C (600 °F).
- La temperatura de película (máxima temperatura) es de 343 °C (650 °F).
- Son no carbonizantes.
- Tienen una larga vida útil a altas temperaturas.
- Poseen bajo punto de fluidez.
- Baja viscosidad a temperatura ambiente para reducir el tiempo de puesta en marcha requerido de los arranques en frío.
- Altos puntos de inflamación para áreas críticas.
- Resistencia a la oxidación.
- Previene lodos y sedimentos que se presentan cuando el fluido caliente se expone al aire.
- Los hay certificados por la FDA no tóxicos si entran con contacto con alimentos por (ejemplo: Shell CASSIDA Fluid HT32, Paratherm NF).

Todas estas variables son responsabilidad del proveedor que suministra el aceite, ya que se debe asegurar que se está utilizando el mejor aceite para el sistema, debe asegurarse también que cumpla con las temperaturas necesarias; es recomendable que la temperatura de alcance del aceite sea mayor a la utilizada en el sistema.

¹ MENDOZA SANDOVAL, Ricardo Antonio. *Guía de utilización y aislantes térmico en un sistema de transferencia de calor*, p. 20.

Otra variable importante que se debe tomar en cuenta es el coeficiente de expansión térmica, ya que este no debe superar el 20 % del volumen inicial del fluido.

Es importante realizar el análisis del aceite a un tiempo determinado de vida útil (este no debe ser mayor a 1 año), para verificar las buenas propiedades del aceite, y evitar la degradación temprana del mismo en el sistema, ya que de no mantener las propiedades necesarias en el aceite se puede perder eficiencia.

2.5. Aislamiento térmico

Los aislantes térmicos tienen como propiedad principal una baja conductividad térmica, por lo que son utilizados para evitar la pérdida o ganancia de calor en un equipo determinado; se puede decir que los aislamientos son parte importante en los sistemas térmicos, ya que representan una ganancia tanto energética como económica en los procesos donde es utilizado y aumenta la eficiencia de los mismos.

2.5.1. Tipos de aislamiento térmico

Los aislamientos térmicos se clasifican según su composición y forma; cada uno consta de características diferentes, por lo que se pueden tener muchas opciones al momento de realizar la elección de los mismos, entre los tipos de aislantes:

- Fibras minerales
- Aislantes térmicos granulares
- Aislantes térmicos celulares

2.5.1.1. Fibras minerales

Son materiales fabricados a partir de la fusión de la roca, escoria metálica o vidrio, para luego convertirse en fibras a través de un proceso llamado centrifugado a alta velocidad, estos se pueden dividir en:

- Lana de roca
- Fibra de vidrio
- Fibra de cerámica

2.5.1.1.1. Lana de roca

Son materiales que se fabrican a partir de la fundición de la roca tipo basáltica o también pueden ser utilizados los residuos de la fundición del acero y materiales con alto contenido de óxido de aluminio y silicatos.

Sus temperaturas de operación pueden soportar los 650 °C en colchonetas y 1 037 °C cuando se presentan en medias cañas, placas rígidas y semirrígidas y tiene una conductividad térmica de 0,03-0,05 W(m-K).

2.5.1.1.2. Fibra de vidrio

Este aislante térmico es formado a partir de la fundición de los desechos del vidrio, por lo que su materia prima es de bajo costo; los bloques de fibra de vidrio capturan aire entre ellos, lo que los convierte en buenos aislantes térmicos.

Su temperatura máxima de operación es de 538 °C en colchonetas tipo I, II y III, medias cañas, placas rígidas y rollos; tienen una conductividad térmica de 0,019-0,040 W(m-K).

2.5.1.1.3. Fibra cerámica

Esta es también llamada fibra refractaria y está fabricada a partir de sílice y óxidos de aluminio fundido, aunque puede llevar otros aluminos en cantidades pequeñas, está diseñada para soportar las temperaturas más altas donde no es posible utilizar fibra de vidrio o lana de roca. Su temperatura máxima de operación en presentación de colcha es 982 °C, 1260 °C, 1427 °C en 4, 6 y 8 lb/pie³ y 1260 °C, 1316 °C, 1427 °C en 14, 16, 20, 28 y 45 lb/ pie³ en tablas, su conductividad térmica está entre 0,06-0,08 W(m-K).

2.5.1.2. Aislantes térmicos celulares

Este tipo de termoaislante es un material celular formado de vidrio o plástico espumado; los aislantes térmicos más utilizados de este tipo son: poliuretano 0,019-0,040 W(m-K), poliestireno expandido 0,029-0,053 W(m-K), y vidrio espumado 0,035-0,055 W(m-K).

En el mercado pueden ser encontrados en presentaciones de preformado en hojas, cubiertas para tuberías, rollos, medias cañas y en espumado como poliuretano por aspersión.

2.5.1.3. Aislante térmico granular

El aislante granular está compuesto por nódulos que contienen espacios vacíos, son combinados con fibras de refuerzo con lo que consigue rigidez, estructura y proforma; los materiales más comunes son: vermiculita expandida, perlita expandida, tierra diatomácea, silicato de calcio y de sodio; pueden encontrarse en el mercado en presentaciones de *block*, tablas y medias cañas.

2.6. Tuberías y accesorios

Para los sistemas de aceite térmico es importante mantener el circuito completamente aislado de entradas de aire para evitar la oxidación del aceite, como se ha dicho anteriormente; por eso es importante tomar muy en cuenta que los accesorios deberán ser soldados o unidos con bridas; por ningún motivo deberán ir roscados.

Todas las uniones con bridas deberán llevar una empaquetadura preferiblemente de lámina metálica, y utilizar materiales como el asbesto o cualquier otro material utilizado para empaquetadura, que soporte las temperaturas de operación.

Por ningún motivo se utilizarán tuberías de cobre o alguna de sus aleaciones, aluminio o hierro forjado. Toda la tubería deberá ser de hierro negro, sin costura, fabricado según la norma ASME SA-106B o SA-53.

2.7. Pérdidas de calor en sistemas de aceite térmico

Las pérdidas de calor en cualquier sistema se llevan a cabo por la interacción de un cuerpo caliente con otro frío, ya que el cuerpo caliente tenderá a entregar energía al cuerpo frío, por lo tanto el objetivo primordial del sistema de calentamiento térmico tiene que ser evitar cualquier pérdida de calor en el sistema, de tal forma que este pueda trabajar de manera eficiente, tratando de evitar gastos por exceso de consumo de combustible, que sería el principal factor en cuanto a los análisis de costos.

Entre las principales causas por las que en un sistema se puede trabajar de una manera ineficiente con pérdidas de calor están:

- Existencia de hollín en el serpentín de la caldera
- Falta de aislamiento en tuberías
- Uso de aislante incorrecto
- Uso de aceite deteriorado

3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO

El diseño del sistema con aceite térmico es lo más importante, ya que en él se definen las condiciones y normas necesarias para la instalación y los factores importantes que deberá tener cada uno de los componentes que se utilizarán para una buena operación del sistema.

El diseño debe tomar en cuenta que no se deben seleccionar equipos más grandes de lo necesario ni tampoco uno muy pequeño; por lo tanto se presentan algunas reglas básicas para un buen diseño de los sistemas con aceite térmico.

3.1. Diseño del calentador

La elección correcta del calentador es importante para un buen diseño; lo primero que se debe determinar es la temperatura con la cual operará el sistema del calentador; no puede ser dimensionada ni muy grande ni muy pequeña, por lo que se recomienda que después de realizar los cálculos, con la asesoría del fabricante, es importante agregar un margen del 15 al 20 % como un factor de seguridad para el equipo que se elegirá.

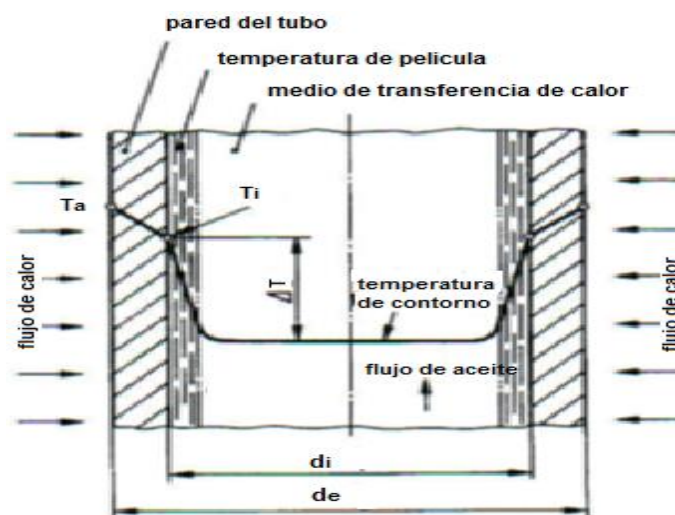
Uno de los factores más importantes para la elección correcta del calentador es la temperatura de película, la cual se entiende como la temperatura del aceite en la superficie interior de los tubos del serpentín y de la cual depende la durabilidad tanto del calentador como de la instalación.

Para el cálculo de la temperatura de película, de acuerdo con la norma DIN 4754, se recomienda utilizar algunos parámetros con mayor importancia los cuales son:

- Tipo del aceite
- Velocidad del aceite
- Dimensiones del serpentín
- Dimensiones de la cámara de combustión
- Flujo calorífico
- Tipo de combustible

En la figura 6 se presenta un esquema con el aceite dentro de la tubería para tener una idea más clara sobre la temperatura de película.

Figura 6. **Esquema de temperatura de película dentro de la tubería**



Fuente: Pirobloc, www.pirobloc.com/blog-es/la-importancia-de-la-temperatura.

Consulta: 25 de enero 2014.

Donde:

T_a = temperatura de superficie del tubo

T_i = temperatura del punto de contacto entre el fluido y el tubo

ΔT = cambio de temperatura del fluido y temperatura de contorno

d_i = diámetro interno

d_e = diámetro externo

3.1.1. Configuración del serpentín

Los serpentines más utilizados en la industria son los de tipo helicoidal; utilizar varios serpentines helicoidales es mejor que uno solo, ya que mientras más serpentines se utilizan se tiene una mejor superficie de transferencia de calor.

El gas de combustión, por ejemplo en una caldera de doble serpentín, pasa por tres superficies de los tubos antes de ser evacuados a la atmósfera; esto provoca una mayor vida útil del aceite y también reduce el consumo de combustible; el ejemplo se puede ver en la figura 1.

3.2. Selección del aceite térmico

Este punto es de los más esenciales en el diseño del sistema, ya que el aceite es el encargado de llevar la temperatura a los equipos que necesitan ser calentados, por lo que se recomienda que deba cumplir con algunos requisitos básicos que se mencionan a continuación:

- Resistencia a la degradación para las temperaturas a las cuales fueron especificados, para asegurar una larga vida.

- Buenas características de transferencia de calor.
- Poseer bajas presiones de vapor a la temperatura de operación.
- Poseer baja viscosidad para evitar las pérdidas de energía cinética proporcionadas por el bombeo, que se traducen en un aumento de energía eléctrica.
- Proteger a los equipos de corrosión.

Otras de las recomendaciones importantes para los aceites térmicos es que no deben entrar en contacto con el aire, ya que a temperaturas elevadas el aceite podría oxidarse, por lo que entre sus propiedades, debe ser resistente a la oxidación.

La temperatura del aceite térmico debe ser seleccionada con base en la temperatura del proceso y en las demandas de energía, ya que si se calienta el aceite a temperaturas mayores, haría más corta la vida del aceite y el cambio de este significa un costo elevado en la operación; se debe seleccionar el mejor aceite realizando un estudio detallado del campo de aplicación y comparar con las condiciones operativas.

Entre algunos aceites comerciales se pueden encontrar el Mobiltherm 603 y Mobiltherm 605; ambos con las mismas propiedades, pero la aplicación depende de la temperatura que se utilizará en el sistema, ya que el Mobiltherm 603 tiene rangos de temperatura menores que el 605, se puede encontrar también el aceite Shell *thermia oil* B, que es un aceite que opera en sistemas que trabajan hasta 320 °C, entre otros.

Con el fin de mejorar la transferencia de calor y prolongar la vida útil del aceite se debe asegurar que el flujo dentro del sistema sea turbulento y que el caudal sea constante en las superficies de calefacción, independientemente de

las necesidades de los equipos o el sistema; se recomienda velocidades entre los 2,0 a 3,5 m/s, dependiendo de la forma en la que está instalado el sistema.

3.3. Diseño del tanque de expansión

Este tanque es por lo general proporcionado por el fabricante del calentador, pero si fuera el caso de fabricarlo, es necesario conocer los parámetros necesarios para el diseño del mismo, tales como:

A = coeficiente de expansión térmica del fluido a utilizarse.

T = temperatura máxima de operación del fluido.

V = volumen del fluido en el sistema a temperatura ambiente.

Ta = temperatura ambiente.

Teniendo entonces:

$$\text{Volumen de expansión necesario} = A \times (V - T_a) \times T \quad [\text{Ec. 3}]$$

Estos tanques deben incluir dispositivos de instrumentación mecánica que ayuden a controlar tanto el nivel máximo como el mínimo de aceite para que controlen el apagado y encendido de las bombas; debe poseer un termómetro para tener una medición de la temperatura a la que está llegando el aceite al tanque y de ser posible colocar una mirilla para alta temperatura, a modo de controlar los sensores de nivel.

El tanque debe de estar dimensionado de tal forma que pueda contener el 25 % del volumen total de aceite a temperatura ambiente y un 75 % del volumen total de aceite a temperatura de operación normal y no necesitan estar

aislados, ya que su función es disminuir la temperatura del aceite antes de ingresar al calentador.

3.4. Bombas de recirculación

En los sistema de aceite térmico a diferencia de los de vapor se necesitan bombas para la recirculación del aceite como la mostrada en la figura 5; estas deben cumplir con requisitos necesarios, los cuales se indicarán más adelante, de modo que puedan proporcionar una buena circulación y llevar la cantidad de aceite necesaria a cada equipo que lo requiera en su momento de operación; las bombas centrífugas utilizadas para estas aplicaciones están sujetas a la norma ISO 13709:2009.

Generalmente se deben utilizar bombas centrífugas con motor eléctrico a prueba de explosión; deben estar instaladas de modo que todas sus partes (motor, bomba y acoplamiento) queden alineadas a fin de evitar vibraciones en el sistema y/o averías en los mismos; no deben sobrepasar los 85 dB, realizando la medición a una distancia de 1,5 m con respecto a la base de la bomba; debe contar con una base común de acero, la cual debe ser instalada en una base de concreto reforzado.

3.4.1. Tipos de bombas de recirculación

Existen dos tipos de bombas de recirculación con aplicación para estos tipos de sistemas y la elección de una será definida por las condiciones a las que el sistema opere, las bombas de recirculación se clasifican de la manera siguiente:

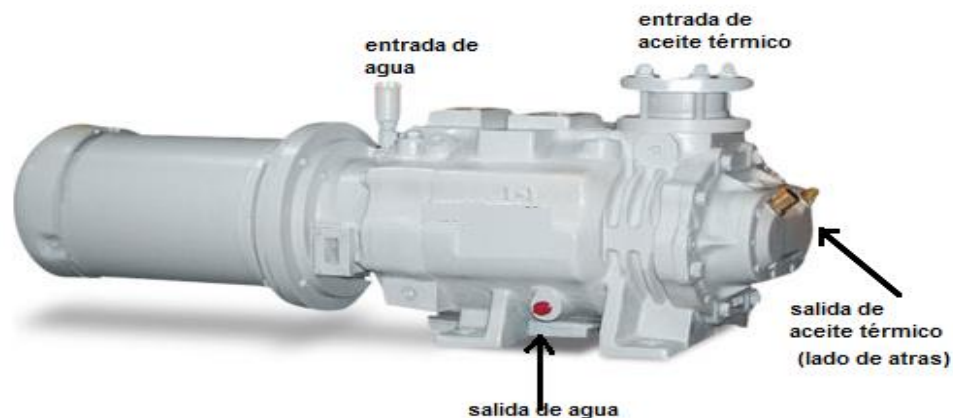
3.4.1.1. Enfriadas por aire

Estas son utilizadas donde las temperaturas son menores o iguales a los 315 °C; el costo es más económico contra los otros tipos, sus sellos mecánicos son lubricados con el mismo aceite, por lo que no deben de operar en seco (sin lubricación); para evitar la rotura del sello deben ser lubricadas periódicamente y la temperatura del ambiente en el cuarto donde están instaladas no debe de ser mayor a los 38 °C.

3.4.1.2. Enfriadas por agua

Estas son utilizadas en sistemas que operan a temperaturas superiores a los 315 °C; su costo es mucho más elevado en comparación de las enfriadas por aire, ya que su instalación requiere una línea de suministro de agua, la cual debe poseer un caudal de 2 a 5 galones por minuto a 5 °C a una presión de 40 psi mínimo.

Figura 7. **Bomba de recirculación enfriada por agua**



Fuente: virtual expo group, <http://www.directindustry.es>. Consulta: 30 de enero 2014

3.5. Tuberías y accesorios

Las tuberías utilizadas en el transporte de fluido térmico son de hierro al carbono; deben seguir las reglas establecidas en las normas ASTM A-83 y ASTM A-106; deben ser sin costura. Debe evitarse también el uso de tuberías de cobre, aluminio y hierro fundido, ya que las primeras dos provocan que el aceite se oxide y que se forme lodo, y la tercera, debido a la porosidad del material tiende a fracturarse.

Los sistemas de tubería deben ser a prueba de infiltraciones y fugas, las uniones de tubería y accesorios deben ser soldados; solamente será permitido instalar tubería roscada para diámetros no mayores a las DN 32 (NPS 1 ¼"); se debe tomar en cuenta que se tienen puntos en las tuberías que necesitan mantenimiento, estas deben ser instaladas con bridas.

Para este tipo de instalaciones se utilizan tuberías de acero al carbono que se rijan según normas internacionales como ASME, UNE, DIN entre otras, cuyas características de presión y temperatura sean acordes a las de diseño de la instalación; para cualquier caso tomar una presión mínima de diseño de 2 Kg/cm². Para la realización del cálculo se utilizará la presión estática y dinámica producida por la bomba de recirculación.

Uno de los efectos en la tubería que se debe tomar en cuenta, es que debido al aumento de temperatura en el sistema, las tuberías sufren una dilatación, la cual debe ser tomada en cuenta en el diseño de las mismas. Este fenómeno suele ser más crítico cuando la tubería se encuentra en una línea recta, ya que al momento de la dilatación provocará tensiones internas en la tubería y tenderá a pandearse, pudiendo dañar los accesorios y hasta los mismos tubos.

Para conocer la dilatación que existe en las tuberías rectas con fijación en los extremos, se utiliza la siguiente ecuación.

$$E = \frac{P/A}{d/L} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

P = empuje sobre los puntos de fijación (N)

A = área de la sección transversal del tubo (m²)

d = dilatación libre de la tubería (m)

L = longitud de la tubería (m)

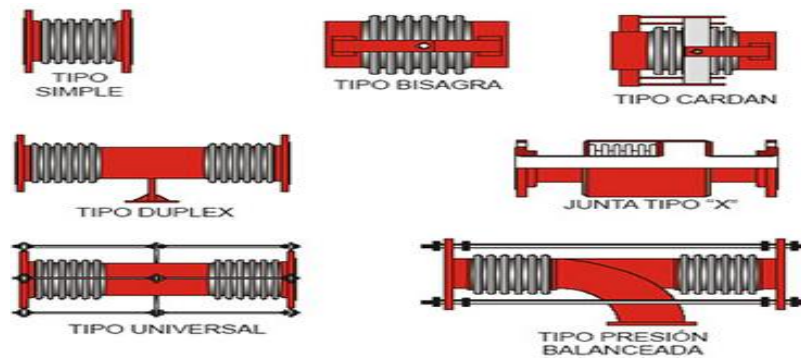
E = módulo de elasticidad del material (N/m²)

3.5.1. Juntas de expansión

Son accesorios utilizados para evitar las tensiones y/o deformaciones en las tuberías por, los efectos de dilatación por los cambios de temperatura, y de la misma manera ayudan a evitar las vibraciones. Estas pueden ser con barra de refuerzo para bajas presiones o sin barra de refuerzo cuando las presiones son bajas.

Existen diferentes tipos de juntas de expansión; en la figura 8 se pueden observar los diferentes tipos de juntas con las que se cuenta para la instalación del sistema de aceite térmico, estas pueden encontrarse roscadas, con bridas y soldadas.

Figura 8. **Juntas de expansión**



Fuente: Brunssen de Occidente, S. A, de C. V. www.comercioindustrial.net/productos. Consulta 26 de enero de 2014

Para determinar la junta de expansión que se debe utilizar es necesario conocer su incremento de longitud (deformación lineal) a compensar dentro de la instalación; se debe conocer la temperatura a la que opera el sistema y la del ambiente, la longitud del tramo de tubería y el coeficiente de dilatación por cambio de temperatura del material de la tubería.

Los proveedores de las juntas de expansión establecen códigos para las juntas; teniendo los datos antes mencionados se puede realizar la correcta elección de la junta, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Deformación lineal} = L \times C_d \times \Delta T \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

L = longitud de la tubería

C_d = coeficiente de dilatación térmica del materia de la tubería

ΔT = diferencia de temperatura entre el ambiente y la del proceso

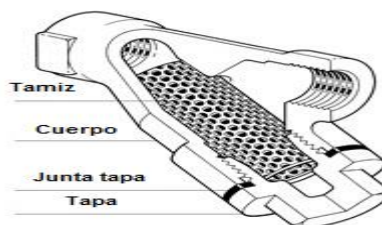
3.5.2. Filtros

Es importante la colocación de filtros en los sistemas de aceite, uno de operación y el otro de relevo, que ayuden a mantener el aceite libre de cualquier contaminante. El sistema debe incluir un sistema de *bypass* para permitir el servicio alternativo de los filtros, sin interrumpir el flujo de aceite para el calentamiento del sistema.

Se deben colocar manómetros en la entrada y salida del filtro, para poder controlar cuando ya se encuentran sucios; la caída de presión permitida es de 2 psi (13,73 kPa), cuando estos se encuentran limpios; en cambio cuando están sucios, la caída de presión no debe sobrepasar los 10 psi (68,64 kPa).

En el sistema de calentamiento se debe operar con filtros capaces de eliminar todo tipo de impureza que pueda existir en el sistema (basura y desechos provenientes de la oxidación del aceite) y tener un tamaño de 0,002 a 0,020 mm; pueden ser contruidos con acero al carbono o hierro fundido para el cuerpo y la canasta deber der de acero inoxidable ASTM A-240 tipo 304.

Figura 9. Filtros



Fuente: Brunssen de Occidente, S. A, de C. V. www.comercioindustrial.net/productos. Consulta.

26 de enero de 2014.

3.5.3. Bridas

Son elementos utilizados en la instalación de tubería para realizar uniones de los elementos con los tubos o entre tubos: estas están guiadas bajo las normas ANSI B16.5. El uso de las bridas depende de la utilización que esta vaya a tener y de eso dependerá la clasificación de la misma que depende de la relación presión-temperatura; es por esa razón que muchas veces el costo de estas es muy elevado e injustificado para los proyectos, ya que mientras mayor sea la clasificación, mayor será el costo de las mismas.

Las bridas son la mejor opción para la instalación de los accesorios, bombas y tuberías en el sistema de aceite térmico, ya que ayudan a mejorar el sellado en las uniones, y porque al momento de realizar reparaciones, se pueden quitar sin mayor problema y sin dañar la tubería, como sucedería si los accesorios se instalaran soldados.

Existen los siguientes tipos²:

- De cuello soldable
- Deslizantes
- Roscadas
- Ciegas
- De enchufe

² GUZMÁN, Fernando. *Curso de cañerías industriales*. p. 15

Figura 10. **Tipos de bridas**

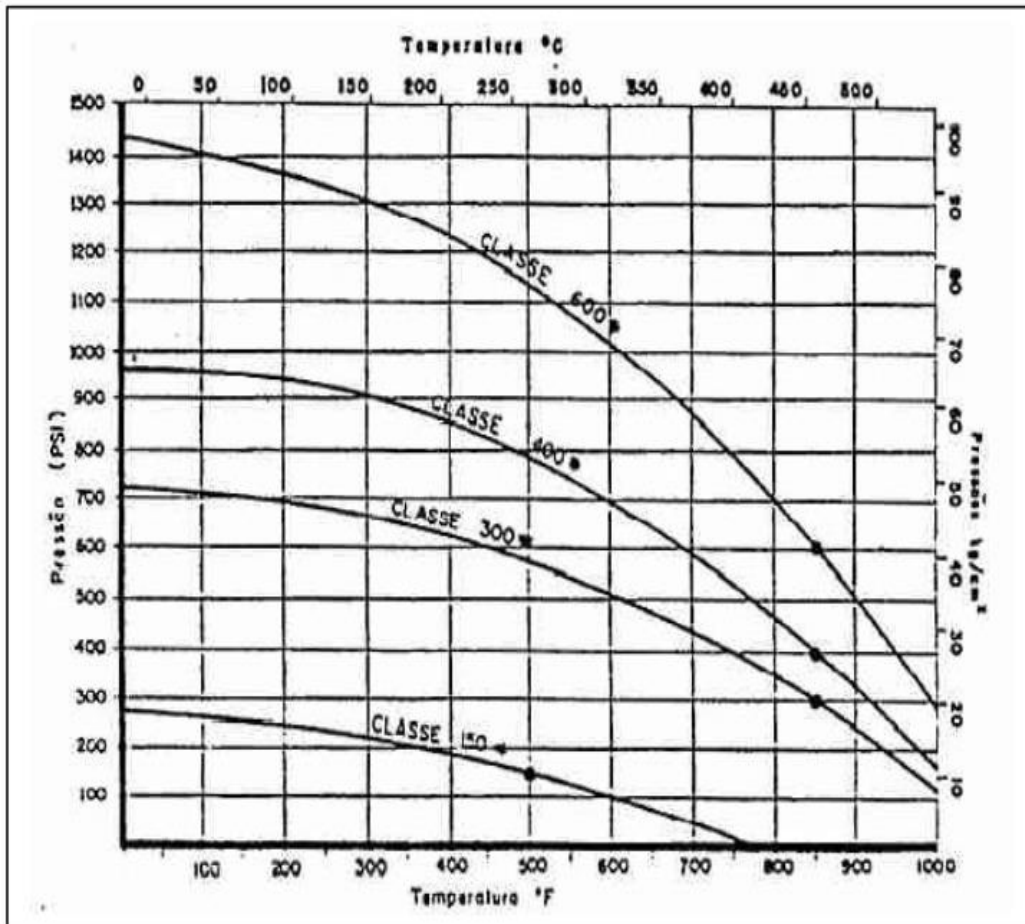


Fuente: Cabox, www.cabox.com.mx/page17.html. Consulta: 28 de enero de 2014.

Algunos ejemplos de las clasificaciones de las bridas según ANSI B16.5, la cual las identifica como: 150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1500# y 2500#.

Para entender mejor esta codificación se muestra la figura 11, la cual es una gráfica que da a conocer la relación de presión y temperatura en el sistema; esta ayuda a realizar la elección correcta de los accesorios a utilizar en la instalación.

Figura 11. Relación presión – temperatura para selección de bridas



Fuente: GUZMÁN, Fernando. *Curso de cañerías industriales*. p. 15.

Entre las ventajas puede mencionarse que permite unir elementos que necesitan servicio a determinado tiempo; son fáciles de quitar, ya que solo cuentan con tornillos o pernos con tuerca y reducen los esfuerzos en las tuberías; es necesario también la instalación de empaques de asbesto para que funcione como sello entre las bridas.

3.5.4. Válvulas

Se deben instalar válvulas en las tuberías de flujo como en las de retorno; estas deben ser seleccionadas dependiendo del diámetro de la tubería y de la presión con la que opera el sistema, la cual se puede tomar del calentador que generalmente son 100 psi y que soporten las temperaturas de trabajo 285 °C; deben ser colocadas en posiciones seguras y tener sus respectivos empaques para evitar el derramamiento del aceite por fugas.

Se deben utilizar válvulas del tipo compuerta y de globo con vástago ascendente PN 50 (clase 300), de acuerdo con la ISO 10434 y ser instaladas con bridas y empaques de metal o materiales de relleno flexibles como por ejemplo el grafito; de ser posible no utilizar asbesto debido a los efectos cancerígenos que este provoca; como materiales alternos se puede utilizar belemoide.

En la figura 12 se observan los dos tipos de válvulas que pueden utilizarse para controlar el flujo dentro del circuito; en las tuberías principales se deben colocar las de compuerta y en la derivaciones pueden ser instaladas las de globo.

Figura 12. Válvulas



Fuente: COFERVAL LTDA, www.coferval.com/node/151. Consulta: 26 de enero de 2014.

3.6. Aislamiento

El aislamiento es un elemento importante en el sistema ya que es el que evita las pérdidas de temperatura en el transporte hacia los equipos que utilizan el fluido caliente; la cantidad de energía perdida en los sistemas de aceite térmico no debe sobrepasar los 80 Btu/h por cada pie lineal de tubería; es importante recordar que el aislamiento deberá ser colocado después que se hayan realizado las pruebas pertinentes en el sistema y se haya corroborado que no existen pérdidas de fluido en el mismo.

Según las características detalladas en el presente trabajo, se puede observar que el mejor aislante a utilizar en estos sistemas es la fibra cerámica; para este punto se consultó también con personal de Proveedores y Asesores Industriales S. A. (Praisá) y según lo indicado es este el material que se utiliza en las instalaciones de aceite térmico, ya que es termoaislante, resiste temperaturas más altas y posee la propiedad de inflamabilidad, por lo que su resistencia al fuego es alta.

Entre sus ventajas están: alcanza temperaturas de trabajo de 1 427 °C y su conductividad térmica es baja 0,06-0,08 W/(m-K) en densidades de 4, 6 y 8 Kg/m³, tomando en cuenta también que los sistemas de aceite térmico son muy propensos a incendios debido a la alta temperatura de los mismos, este tipo de aislante presenta una alta resistencia al fuego, como no lo presentan los demás materiales; debido a esto y a su bajo costo, los cuales se pueden observar en la cotización en el anexo, se tomó como decisión recomendar este material para el aislamiento de tuberías en el sistema.

Para conocer más características específicas de la fibra cerámica se puede observar la hoja técnica proporcionada por el personal de Praise; esta incluye en los anexos de este trabajo.

4. ANÁLISIS DEL PROCESO

4.1. Datos generales de la empresa

El estudio fue realizado en la empresa Textiles del Sur Internacional S. A. ubicada en el kilómetro 18,5 carretera al Mayan Golf, Villa Nueva; fue fundada el 20 de febrero de 1981, por Guillermo Zimeri Massis.

4.1.1. Misión

“Ser una organización líder a nivel regional en la industria textil. Nuestra prioridad es el cliente, por lo que contamos con tecnología adecuada para satisfacer sus requerimientos en cuanto a calidad, precio y tiempo de entrega” (Empresa de Textiles, 2014).

4.1.2. Visión

“Ser la organización guatemalteca manufacturera de productos textiles de mayor reconocimiento en el mercado mundial” (Empresa de Textiles, 2014).

4.1.3. Productos

En la tabla siguiente se dan a conocer los diferentes tipos de productos de la empresa.

Tabla I. **Principales telas fabricadas**

<i>Warp Knit</i>	<i>Twil</i>	<i>Pique</i>
<i>Dazzle</i>	<i>Twil Spandex</i>	<i>Eyelet</i>
<i>Micromesh</i>	Toalla	<i>Miniwaffle</i>
<i>Minimesh</i>	<i>Canvas</i>	<i>Flat Back Mesh</i>
<i>Power Net</i>	<i>Lona</i>	<i>Interlock</i>

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

4.1.4. Procesos de fabricación

Textiles del Sur (Textisur) posee una amplia variedad de procesos para la fabricación de sus telas; cada uno corresponde a un procedimiento específico, ya que no todas las telas son fabricadas de la misma manera; a continuación se presenta un listado de los procesos que se realizan en dicha empresa:

- Urdido sintético
- Urdido de algodón
- Engomado de algodón
- Tejeduría rectilíneas
- Tejeduría circular
- Tejeduría plana
- Tintorería cerrada
- Tintorería continua
- Lavado y blanqueado
- Secado
- Acabados
- Estampado
- Revisión y despacho

4.2. Procesos con aceite térmico

El aceite térmico es utilizado en los últimos procesos que lleva la tela antes de ser confeccionada; es utilizado para los siguientes procesos:

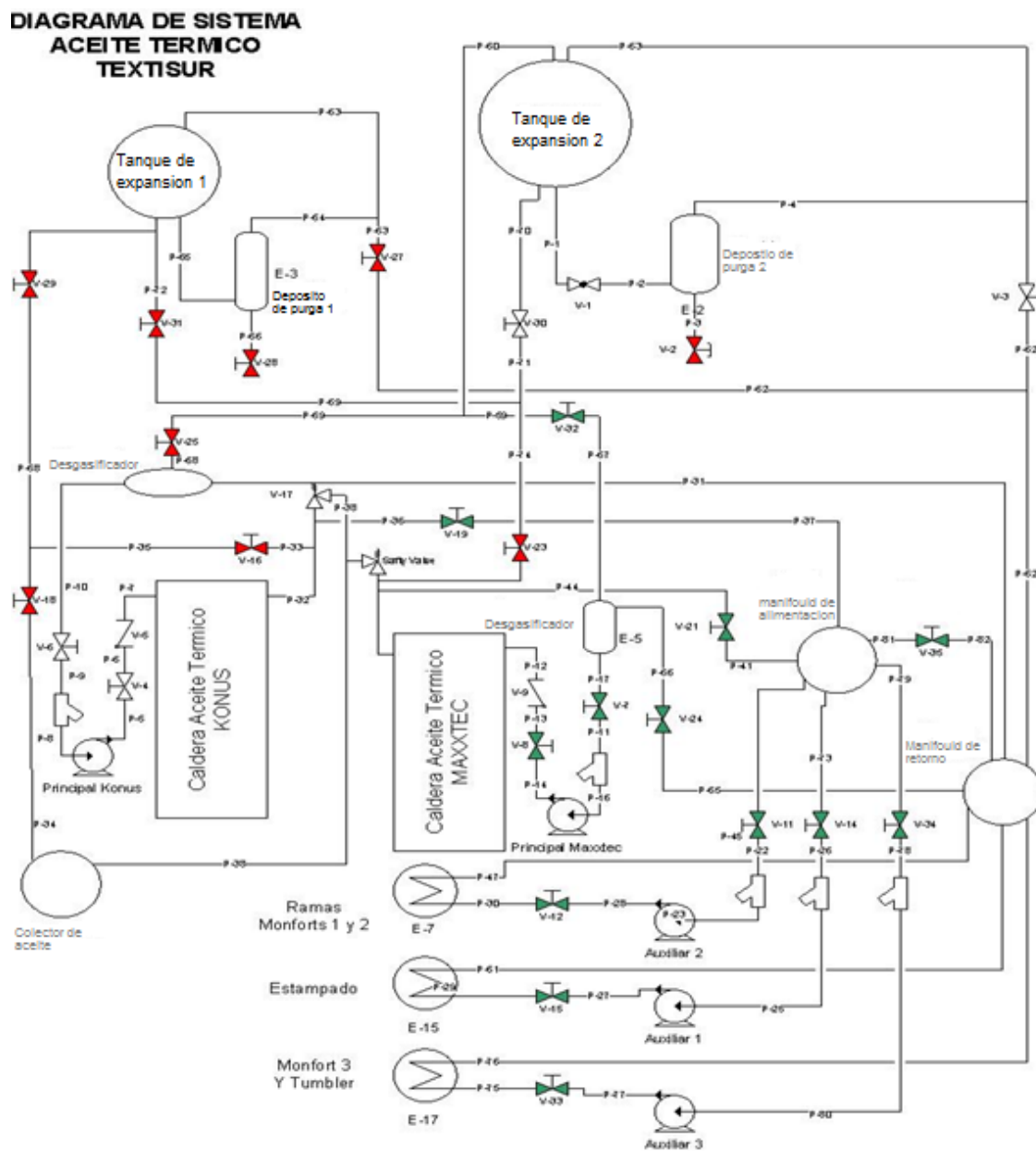
- Acabados: es el proceso en el cual se da el mayor ancho requerido por el cliente; se utilizan temperaturas entre 250 a 285 °C, dependiendo del tipo de tela y el proceso a realizar.
- Secado: este proceso es más utilizado en la toalla, ya que antes de dar los acabados correspondientes es necesario que esta vaya seca.
- Estampado: en el área de estampado el aceite térmico es utilizado en hornos que se encargan de secar la pintura con la cual se han realizado los diseños correspondientes.

4.3. Análisis del sistema de aceite térmico

Para el análisis de este sistema fueron realizadas visitas a Textisur, en las cuales se pudieron realizar mediciones, como por ejemplo: longitud de tubería, medición de temperatura en sistema, observaciones de los elementos pertenecientes al sistema, medición de eficiencia de caldera, entre otros.






El sistema de transferencia de calor está conformado de la siguiente manera:

Figura 13. Diagrama circuito de aceite térmico



Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

Donde:

-  = válvulas reguladoras
-  = filtros de aceite
-  = bombas de recirculación
-  = equipos instalados que utilizan el calor del aceite
-  = válvula de retención

Las máquinas que forman parte de este sistema térmico son las siguientes:

Tabla II. **Máquinas que utilizan aceite térmico**

Departamento	Máquina
Acabados	Rama Famatex
Acabados	Rama Monforts 1
Acabados	Rama Monforts 2
Acabados	Rama Monforts 3
Acabados	Thies Tumbler
Estampado	Zimmer
Estampado	Buser

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

El sistema de calentamiento térmico consta de dos calentadores de combustión, los cuales operan con bunker como el que se observa en la figura 3; uno que la mayor parte del tiempo está encendido y otro que entra en funcionamiento cuando la carga térmica es mayor; esto se debe a que las máquinas no trabajan al mismo tiempo, sino que cada una es encendida dependiendo de la cantidad de procesos que necesite; ya que si toda la

maquinaria está operando, esto hace que la temperatura en los demás procesos disminuya.

La instalación cuenta con una potencia instalada de 31 739 120,87 Btu/h y un consumo de 21 811 185,0 Btu/h, distribuido de la siguiente manera.

Tabla III. **Potencia instalada**

	Caldera	Potencia (KW)	Potencia (Kcal/h)	Potencia (BTU/h)
1	Konus	4 070,00	3 501 858,00	13 887 213,21
2	Maxxtec	5 232,00	4 501 612,00	17 851 907,66
Total		9 302,00	8 003 470,00	31 739 120,87

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

Tabla IV. **Potencia utilizada**

Máquina	Potencia (kcal/h)	Potencia (BTU/h)
Rama Famatex	750 000,00	2 974 252,50
Rama Monforts 1	750 000,00	2 974 252,50
Rama Monforts 2	1 200 000,00	4 758 804,00
Rama Monforts 3	1 600 000,00	6 345 072,00
Estampadora Zimmer	450 000,00	1 784 551,50
Estampadora Buser	450 000,00	1 784 551,50
Tumbler	300 000,00	1 189 701,00
Total	5 500 000,00	21 811 185,00

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

Tabla V. **Potencia disponible**

Capacidad instalada (BTU/h)	Capacidad consumida (BTU/h)	Capacidad sobrante (BTU/h)
31 739 120,87	21 811 185,00	9 927 935,87

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

4.4. **Análisis de fallas**

Uno de los problemas que más afecta al sistema de aceite térmico es la falta de aislamiento en la tubería que lo transporta hacia las máquinas que lo necesitan, así como tramos de tubería con aislante en mal estado y/o deteriorado; si el aislante está en deterioro, esto hace que el calentamiento de la maquinaria sea más lento, que el consumo de combustible sea mayor y la producción sea lenta; por lo tanto esto provoca deficiencia en el sistema.

Figura 14. **Tubería ramal de aceite térmico sin aislante**



Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

Figura 15. **Tubería principal de aceite térmico sin aislante**



Fuente: Textiles del Sur S. A.

Debido a la pérdida que se da en las tuberías por falta de aislamiento o por tenerlo en malas condiciones, se procedió a realizar un estudio más detallado en cuanto a la inversión de la insolación para las respectivas tuberías.

La instalación del sistema de aceite térmico en Textisur cuenta con tubería de acero al carbono con diferentes ramales de diversos diámetros y longitudes, los cuales se describen en la tabla VI.

Tabla VI. **Diámetro de tuberías y sus longitudes**

Diámetro de tubería (pulgadas)	Longitud en metros
8	300
6	120
4	50
3	250
2,5	100
2	150
1	40

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

La falta de aislamiento provoca un intercambio de calor entre el ambiente y el fluido caliente que viaja a través de la tubería, provocando pérdidas de temperatura con el ambiente y pérdidas energéticas significativas.

La instalación de los aislantes térmicos provoca un ahorro de combustible y evita que se pierda la temperatura en el proceso de transporte del fluido. Para realizar los cálculos de aislamiento en el sistema se utilizó el programa 3EPlus versión 4,1 y se realizó una cotización en Praisá; el material a utilizar es de fibra cerámica con grosor de 1 ½" y densidad de 8 lb/pie³.

Tabla VII. **Valores constantes para cálculo de aislamiento**

Temperatura de proceso	446 °F
Combustible	Bunker "C"
Capacidad calorífica	146,346 Btu/gal
Costo de combustible	21,5 Q/gal
Eficiencia de caldera (medida)	85%
Horas de trabajo al año	8 760
Temperatura del ambiente	75 °F

Fuente: Textiles del Sur Internacional S. A.

Cálculo matemático de pérdidas de calor:

Para tratar de entender lo realizado por el programa 3Eplus, se realizará un ejemplo con la tubería de 8" y se procederá a la comparación de los resultados obtenidos con el programa y los calculados.

Datos para los cálculos:

$$V_{\text{promedio del aceite}} = 2,75 \text{ m/s (obtenido hoja técnica del aceite)}$$

$$D_i = 0,203 \text{ m}$$

$$D_o = 0,219 \text{ m}$$

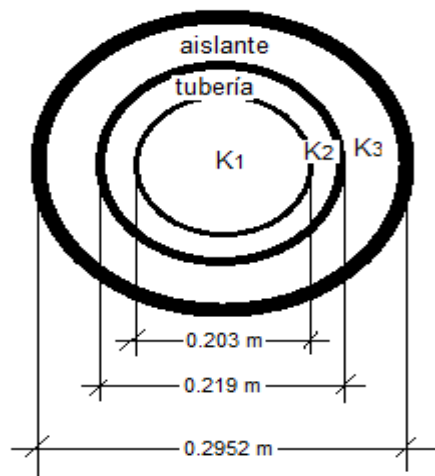
Número de Prandtl (P_r) = 14 (obtenido hoja técnica del aceite)

$$K_1 \text{ aceite} = 0,118 \text{ W/mK (obtenido hoja técnica del aceite)}$$

$$K_2 \text{ tubería} = 60,5 \text{ W/mk}$$

$$K_3 \text{ aislante} = 0,068 \text{ W/mk}$$

Figura 16. Diagrama de capas de aislamiento en tubería



Fuente: GÚZMÁN, Roberto. *Notas del curso de Instalaciones mecánicas*.

Como primer paso se procederá a calcular el número de Reynolds para el aceite térmico dentro de la tubería utilizando la siguiente ecuación:

$$NRe = \frac{V_{\text{promedio}} \cdot D_i}{\mu_{\text{cinemática}}} \quad [\text{Ec.5}]$$

$$NR_e = \frac{2,75 \text{ m/s} \cdot 0,203 \text{ m}}{1,2 \text{E}-6 \text{ m}^2/\text{s}} = 4,65 \text{E}5$$

Teniendo el resultado del número de Reynolds, se necesita calcular el número de Nusselt (Nu), el cual indica un diferencial en el aumento de calor desde una superficie por donde pasa el fluido (convección), comparada con la transferencia del fluido solo por conducción. Este número servirá para calcular el coeficiente de calor por convección del aceite térmico; este se calcula con la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{(f/8)(NRe - 1000)Pr}{1 + 12,7(f/8)^{0,5}(Pr^{2/3} - 1)} \quad [\text{Ec. 6}]$$

$$f = (0,79 \ln(NRe) - 1,64)^{-2} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$f = (0,79 \ln(4.65E5) - 1,64)^{-2}$$

$$f = 0,0133$$

$$Nu = \frac{(0,0133/8)(4,65E5 - 1000)14}{1 + 12,7(0,0133/8)^{0,5}(14^{2/3} - 1)}$$

$$Nu = \frac{(1,6625E - 3)(4,64E5)14}{1 + 12,7(0,0408)(6,868 - 1)}$$

$$Nu = 2\,672,796$$

Ahora se calculará el coeficiente de calor por convección del aceite térmico, utilizando la siguiente ecuación:

$$hi = \frac{Nu * K_{aceite}}{D} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$hi = \frac{2\,672,796 * 0,118 \text{ W/m } ^\circ\text{C}}{0,203 \text{ m}}$$

$$hi = 1\,553,645 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculos de coeficientes de calor por convección en el sistema:

$$R = R_T = R_i + R_{\text{pared}} + R_{\text{aislamiento}} + R_{\text{chaqueta de aluminio}}$$

$$R_T = \frac{1}{hiAi} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_{\text{aislante}}} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_{\text{chaqueta aluminio}}} \quad [\text{Ec. 9}]$$

$$R_T = \frac{1}{1553,644\pi(0,203)} + \frac{\ln(0,219/0,203)}{2\pi(60,5)} + \frac{\ln(0,2952/0,219)}{2\pi(0,068)} + \frac{\ln(0,2957/0,2952)}{2\pi(237)}$$

$$R_T = 0,699 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Entonces se tiene que la pérdida total de calor será:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_T} \quad [\text{Ec. 10}]$$

$$\dot{Q} = \frac{230 \text{ } ^\circ\text{C} - 30 \text{ } ^\circ\text{C}}{0,699 \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 286,123 \text{ W}$$

Retomando los datos calculados con el software de la pérdida de calor en Btu/año/pie, se procede a realizar las conversiones respectivas.

$$1 \text{ Btu} = 3,4121 \text{ W}$$

$$286,123 \text{ W} \times \frac{1 \text{ Btu/h}}{3,4121 \text{ W}} = 83,855 \text{ Btu/h}$$

Para calcular los Btu perdidos al año se deben utilizar las horas promedio de trabajo anuales y los pies de longitud que tiene la tubería.

$$83,855 \text{ Btu/h} \times 8\,760 \text{ h} \times 984 \text{ ft} = 722,8\text{E}6 \text{ Btu/ft}$$

Si se observa la tabla XII, se puede identificar que la pérdida de calor en Btu al año es de 995.8E6, lo cual difiere de los cálculos realizados con el software 273E6 Btu anuales; esto debido a los decimales que se tomaron, y que “la ecuación de Nusselt presenta un margen de error del 25 al 10 %”, (Cengel, 2014, p. 474).

Por lo que para este trabajo se utilizará el software 3EPlus, ya que se cuenta con varios diámetros de tubería y esto simplifica los cálculos.

Figura 17. **Tubería de 8 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor**

variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislante	447.98	25210	
0.5	69.49	3910	378.49
1.0	40.48	2278	407.50
1.5	30.33	1707	417.65
2.0	24.66	1388	423.32
2.5	20.31	1143	427.67
3.0	17.98	1012	430.00
3.5	16.23	914	431.75
4.0	14.88	837	433.10
4.5	13.79	776	434.19

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 18. **Tubería de 6 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislante	347.45	19550	
0.5	54.52	3068	292.93
1.0	33.82	1903	313.63
1.5	25.19	1418	322.26
2.0	20.03	1127	327.42
2.5	17.20	968	330.25
3.0	15.23	857	332.22
3.5	13.46	757	333.99
4.0	12.40	698	335.05
4.5	11.54	650	335.91

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 19. **Tubería de 4 pulgadas, cañuela 3 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislante	239.89	13500	
0.5	36.37	2046	203.52
1.0	23.10	1300	216.79
1.5	17.83	1003	222.06
2.0	14.86	836	225.03
2.5	12.94	728	226.95
3.0	11.44	644	228.45
3.5	10.46	589	229.43
4.0	9.71	546	230.18
4.5	8.96	504	230.93

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 20. **Tubería de 3 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislante	188.90	10630	
0.5	30.52	1718	158.38
1.0	19.35	1089	169.55
1.5	14.84	835	174.06
2.0	12.48	702	176.42
2.5	10.96	617	177.94
3.0	9.88	556	179.02
3.5	8.98	505	179.92
4.0	8.37	471	180.53
4.5	7.88	444	181.02

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 21. **Tubería de 2,5 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislante	156.89	8828	
0.5	24.34	1370	132.55
1.0	16.42	924	140.47
1.5	11.62	654	145.27
2.0	10.13	570	146.76
2.5	9.10	512	147.79
3.0	8.35	470	148.54
3.5	7.70	433	149.19
4.0	7.25	408	149.64
4.5	6.88	387	150.01

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 22. **Tubería de 2 pulgadas, cañuela 1,5 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislamiento	131.15	7379	
0.5	20.96	1180	110.19
1.0	14.33	806	116.82
1.5	11.28	635	119.87
2.0	9.59	540	121.56
2.5	8.55	481	122.60
3.0	7.81	440	123.34
3.5	7.25	408	123.90
4.0	6.76	380	124.39
4.5	6.41	361	124.74

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Figura 23. **Tubería de 1 pulgada, cañuela 1,5 pulgadas de espesor**

Variables de espesor de aislamiento	Costo (\$/ft/yr)	Pérdida de calor (kBTU/ft/yr)	Ahorro (\$/ft/yr)
Sin aislamiento	75.83	4267	
0.5	13.77	775	62.06
1.0	9.50	535	66.33
1.5	7.87	443	67.96
2.0	6.86	386	68.97
2.5	6.21	349	69.62
3.0	5.76	324	70.07
3.5	5.41	305	70.42
4.0	5.14	289	70.69
4.5	4.89	275	70.94

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

La siguiente tabla indica el grosor del aislamiento adecuado para cada diámetro de tubería y también el ahorro anual en quetzales.

Tabla VIII. **Resumen de resultados**

Diámetro (pulgadas)	Grosor de aislamiento (pulgadas)	Longitud (pie)	Pérdida de energía al año (Btu/ft/año)	Pérdida de calor Btu/año	Ahorro anual (Q)
8	3	984	1 012 000	995,8E6	3 352,32
6	3	393,6	857 000	337,3E6	2 590,00
4	3	164	644 000	105,6E6	1 781,00
3	1,5	820	835 000	684,7E6	1 356,99
2.5	1,5	328	654 000	214,5E6	1 132,54
2	1,5	492	635 000	312,4E6	934,52
1	1,5	131,2	443 000	58,1E6	529,82
			Total		11 677,19

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Con los datos calculados por el software 3EPlus y con las cotizaciones respectivas (ver anexo), se puede calcular la inversión necesaria en este sistema para aumentar la eficiencia del mismo, instalando refractario en las cañerías para evitar las pérdidas de calor por radiación.

Se realizó la cotización de la fibra cerámica en colcha con grosor de 1,5" de espesor y densidad 8 lb/pie³, con ancho de 2 pies y un largo de 16.5 pies (equivalente a 5 m.); el precio por unidad es de Q.385,00 (ver anexo), para el costo de instalación se utilizarán dos personas con un sueldo de Q. 70,00 por día de 8 horas trabajadas.

Tabla IX. **Inversión de aislamiento para tubería**

Diámetro de tubería (pulgadas)	Longitud (metros)	Espesor de aislamiento (pulgadas)	Piezas de aislamiento	Precio unitario (Q)	Tiempo en días	Costo de instalación (Q)	Precio total de inversión (Q)
8	300	3	120	385,00	12	1 680,00	47 880,00
6	120	3	48	385,00	5	700,00	19 180,00
4	50	3	10	385,00	2	280,00	4 130,00
3	250	1,5	25	385,00	6	840,00	10 465,00
2,5	100	1,5	7	385,00	2	280,00	2 692,00
2	150	1,5	10	385,00	3	420,00	4 270,00
1	40	1,5	1	385,00	1	140,00	525,00
Total							89 142,00

Fuente: elaborado en software 3EPlus versión 4.1.

Tabla X. **Cálculo de ahorro en los distintos diámetros de tubería**

Diámetro de tubería (pulgada)	Longitud a aislar (pie)	Btu/ft año	Pérdida de calor (Btu/año)	Ahorro de búnker (gal/año)	Ahorro (Q/año)	Inversión (Q)	Retorno inversión (años)
8	984	1 012,000	3,036E8	2 074,45	44 600,67	47 880,00	1,08
6	393,6	857,000	1,028E8	702,41	15 101,82	19 180,00	1,16
4	164	644,000	3,22E7	220,02	4 730,43	4 130,00	1
3	820	835,000	2,087E8	1 426,00	30 659,00	10 465,00	1
2 ½	328	654,000	6,54E7	446,86	9 607,49	2 692,00	1
2	492	635,000	9,525E7	650,82	13 992,63	4 270,00	1
1	131,2	443,000	1,772E7	121,08	2 603,22	525,00	1

Fuente: 3EPlus versión 4.1.

Pérdida de calor (Btu/año)= 984 pie*1 012 000 Btu/ft año = 3,036E8.

Ahorro de bunker al año; según la tabla VII el poder calorífico del búnker es 146 346 Btu/galón; entonces, ya que se tiene la pérdida en Btu/año, se puede calcular el ahorro del mismo.

$$\frac{3,036E8 \text{ Btu/año}}{146 \text{ 346 Btu/gal}} = 2 \text{ 074,45 gal/año}$$

$$146 \text{ 346 Btu/gal}$$

Tomando de la misma tabla el costo en quetzales por galón de búnker, se procede a calcular el ahorro anual que se obtendría si las condiciones fueran las recomendadas en función de los cálculos.

$$2 \text{ 074,45 gal/año} * 21,5 \text{ Q/gal} = 44 \text{ 600,67 Q/año}$$

El valor de inversión es tomado de la tabla XIII.

4.4.1. Cantidad de aceite térmico

Para determinar la cantidad de aceite necesario en el sistema se tomarán como referencia las medidas realizadas de tubería, calculando el volumen de la misma.

Se sabe que:

$$\text{Volumen} = A_{\text{superficial}} * L \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$A_{\text{superficial}} = r^2 * \pi$$

$$\pi = 3,1416$$

Para la primera tubería que es de 8 pulgadas de diámetro interno, se tiene un equivalente a 203,2 mm, igual a 0,2032 m. Se puede decir entonces que el volumen de aceite para la tubería según la ecuación de volumen es:

$$V = (0,1016 \text{ m})^2 * 3,1416 * 300 \text{ m}$$

$$V = 9,73 \text{ m}^3$$

Entonces se tiene para los diferentes diámetros:

Tabla XI. **Cálculo de volumen de aceite en la tubería**

Diámetro (pulgada)	Diámetro (m)	Radio (r) en (m)	Longitud (m)	Volumen (m³)
8	0,2032	0,1016	300	9,73
6	0,1524	0,0762	120	2,19
4	0,1016	0,0508	50	0,41
3	0,0762	0,0381	250	1,14
2 ½	0,0635	0,03175	100	0,32
2	0,0508	0,0254	150	0,30
1	0,0254	0,0127	40	0,02
Total				14,11

Fuente: elaboración propia.

Se tiene un volumen total de 14,11 metros cúbicos de aceite en la tubería.

El aceite se compra por toneles y 1 tonel contiene 55 galones, entonces para conocer la cantidad necesaria de toneles de aceite, se convertirán los metros cúbicos en galones, utilizando el factor de conversión siguiente:

$$1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ litros}$$

$$1 \text{ gal} = 3,785 \text{ litros}$$

Entonces:

$$14,11 \text{ m}^3 \times \frac{1,000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ litros}} = 3\,727,87 \text{ gal}$$

Tomando la ecuación 2, se puede ver que existirá un porcentaje de aumento de volumen debido al aumento de temperatura, entonces la cantidad que se necesita es de:

$$\text{Porcentaje del aumento de volumen} = 0,035 (\Delta T \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\text{Porcentaje del aumento de volumen} = 0,035 (230-30)$$

$$\text{Porcentaje del aumento de volumen} = 7$$

Entonces se tiene que restar ese porcentaje a la cantidad que se obtuvo de resultado, esto quedaría como:

$$(7 \times 3\,727,87 \text{ gal})/100 = 260,95 \text{ galones}$$

Entonces se resta al total:

$$3\,727,87 \text{ gal} - 260,95 \text{ gal} = 3\,466,92 \text{ gal}$$

Como bien se sabe un tonel contiene 55 galones, entonces la cantidad de necesaria para la tubería es de 63 toneles, y según los datos de Textiles del Sur las dos calderas se llenan con 8 toneles; con base en experiencias, entonces el sistema necesita 71 toneles para poder trabajar. Cada tonel de aceite tiene un costo de Q. 6 756,70, según cotización adjunta en anexos; esto equivale a una inversión de Q. 479 725,70; esta inversión debe realizarse cada 5 años, si la instalación se mantiene en óptimas condiciones.

4.5. Programa de mantenimiento preventivo

Semanal:

- Limpieza y calibración de electrodos.
- Limpieza y lubricación de dámper.
- Lubricación de rótulas de brazo accionador de dámper.
- Limpieza y lubricación de conjunto de levas moduladoras.
- Limpieza de filtro en línea de bunker salida de tanque de uso diario.
- Limpieza de filtro en línea de bunker entrada a la caldera.
- Realizar prueba a dispositivos de seguridad.
- Control apagado por alta temperatura.
- Verificar funcionamiento control de temperatura seteada 380 °C.
- Prueba de encendido correcto.
- Revisión de fugas en bombas de recirculación.
- Inspección de fugas en las uniones de temperatura.

Mensual:

- Revisar estado de acoplamiento de transmisión del motor eléctrico a bomba de bunker.
- Revisar estado de acoplamiento de transmisión del motor eléctrico con bombas de recirculación.
- Desmontaje y limpieza de elementos de filtros de búnker en bombas y quemador.
- Desmontaje y limpieza de elementos de filtros de aceite térmico en entradas a bombas de recirculación.
- Revisión de nivel de aceite en tanque de expansión.

- Revisión de panel de control de caldera.
- Revisión de panel de control de bombas de recirculación y bombas de alimentación de bunker.
- Revisar fugas o derrames en todo el sistema (uniones y válvulas).

Trimestral:

- Limpieza de chimenea.
- Limpieza sensor de temperatura en salida de humos.
- Limpieza y reapriete del panel de control en calentador y bombas de recirculación.
- Reapriete de bornes en caja de conexiones de motores eléctricos.

Semestral:

- Realizar prueba de dispositivos de seguridad.
- Apertura de calentador y limpieza de la misma.
 - Limpieza interna.
 - Inspección del estado de tubería en el hogar.
 - Inspección y limpieza del estado inferior trasero.
 - Cambio de empaquetadura en caldera y uniones de tubería.
 - Inspección del estado del refractario y reparar, si es necesario.
- Mantenimiento del motor del soplador (*blower*) del quemador.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de resultados

Habiendo realizado las observaciones y los cálculos correspondientes al sistema de aceite térmico con el cual se opera en Textiles de Sur, se puede observar que el problema de falta de aislante térmico en las tuberías es el más significativo en cuanto a costos de inversión.

Textiles del Sur cuenta con un total de energía perdida igual a 8,25E8 Btu/año, lo cual equivale a 5 641,63 galones de bunker según la tabla XIV, lo que tiene un precio de Q.121 295,12 al año, teniendo el costo de bunker a Q. 21,50, según la tabla VII.

Por otro lado, se puede mencionar que el costo de instalar fibra cerámica para reducir la pérdida de energía térmica en el sistema es de Q. 89 142,00; a esto es importante sumarle el precio de la lámina de aluminio, la cual mejora las propiedades de aislamiento y da una mejor presentación a la instalación; el precio total de esta es de: Q.59 524,00 para una cantidad de 790 metros de lámina.

Se puede decir entonces que el costo total de instalación de aislante térmico es de Q.148 666,00; con un tiempo de instalación de un mes la empresa tiene una pérdida anual de Q.121 295,00 al año; se puede concluir que instalar aislamiento de fibra cerámica ayudará a la empresa a ahorrar una significativa cantidad de dinero.

CONCLUSIONES

1. La pérdida de calor más significativa en el sistema se da por falta de un correcto aislamiento térmico o ausencia del mismo, dado que toda la tubería está sin aislamiento.
2. Textiles del Sur necesita 71 toneles de aceite térmico, para que el sistema transfiera de una manera más eficiente la temperatura.
3. Para mejorar mecánicamente la instalación es necesario colocar manómetros en los filtros para controlar el buen estado de los mismos, colocar juntas de expansión para evitar las tensiones en la tubería y reemplazar el empaque de asbesto por empaque de lámina de metal.
4. Para lograr un ahorro de combustible en el calentador se deben aislar las tuberías y utilizar la cantidad adecuada de aceite según la capacidad del sistema.
5. La mejor manera de disminuir el tiempo de puesta en marcha de las máquinas depende igualmente de aislar la tubería, para obtener desde el arranque del sistema menor pérdida de calor por radiación.

RECOMENDACIONES

1. Textiles del Sur debe implementar formatos que ayuden a monitorear el comportamiento del sistema y también un programa de mantenimiento preventivo a los equipos e instalaciones, para evitar averías en los momentos donde la producción es alta.
2. Es necesaria la verificación de la cantidad de aceite en el sistema, ya que si no se encuentra la cantidad necesaria, el sistema trabajará de manera deficiente; es necesario también que se realicen pruebas anuales al aceite según las especificaciones del fabricante, para verificar las propiedades del mismo, asegurando un buen aceite en el sistema.
3. Para reducir las pérdidas de temperatura en el sistema de transferencia térmica es necesario aislar la tubería de transporte de aceite; esto ayudará a tener menos consumo de combustible (ahorro económico) y reducirá los tiempos de calentamiento en las máquinas; esto reduce tiempos de producción.
4. Para tener un buen sistema es necesario la corrección de fugas, ya que estas exponen al colaborador a quemaduras y también a incendios dentro de la planta; es necesario que se instalen los accesorios necesarios en la tubería, como juntas de expansión, manómetros, medidores de flujo y de temperaturas, con el fin de ayudar a tener instalaciones más seguras para el personal que opera en las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEHN, Arnulfo Oelker. *Calentadores y sistemas de fluido técnico*. [en línea]. <www.thermal.cl>. [Consulta: noviembre de 2014].
2. BRISO MEDINA, David Fernando. *Análisis de ingeniería a un sistema de calefacción mediante aceite térmico en un buque portacontenedores*. Chile: Universidad de Valdivia, 2006. 21 p.
3. GOLZMAN, Fernando. *Curso de cañerías industriales*. [en línea]. <www.powermaster.com.mx/informacion.html>. [Consulta: noviembre de 2014].
4. LARA MUÑOZ, Gustavo Adolfo. *Sistema de calentamiento con aceite térmico*. México: PEMEX, 2009. 130 p.
5. RECUBRIENTO Y AISLANTES TERMICOS S. A. *Los aislantes térmicos en la industria: recubrimientos y aislante térmicos*. [en línea]. <www.ratsa.com>. [Consulta: noviembre de 2014].
6. YUNUS, Alejandro. *Transferencia de calor y masa*. [en línea]. <www.thermal.cl>. [Consulta: noviembre de 2014].

ANEXOS

Anexo 1. Cotización de fibra cerámica



Praisal
PROVEEDORES Y ASESORES INDUSTRIALES S.A.



Guatemala, 18 de Julio 2014 cot # 2418377

Productos Alimenticios Centroamericanos, S.A.
Teléfono: 6643 – 7171
Fax: 6646 -7110

Atención: Sres. Leonel Lazaro / Julio Tevelan

Estimado señor Lazaro:

De acuerdo a su solicitud, tenemos el agrado de cotizarle el siguiente material de aislamiento: fibra cerámica y aluminio liso calibre 25, para insular tuberías de aceite termico a 350°C (ver tabla de diámetros):

Diámetro tubería	Cantidad metros lineales
8"	300
6"	120
4"	50
3"	250
2.5"	100
2"	150
1"	40


Cantidad	Descripción	Precio Unit.	Total
212	Rollo de fibra cerámica marca CJ, con las siguientes características: fibra cerámica para recubrimiento de alta temperatura, espesor de la fibra: 1 1/2", ancho del rollo: 2 pies (24"), largo del rollo: 16.5 pies (200"), densidad 8 lb/pie cubico. Para mayor información técnica ver hojas adjuntas. (CJ cuenta con certificación ISO 9001 lo cual garantiza su calidad)	Q. 385.00	Q. 81,620.00
2,588	Pie de aluminio liso para recubrir el material de aislamiento con las siguientes características: lamina de aluminio liso (cada pie lineal tiene 3.28 pies cuadrados) espesor: .020" (calibre 25)	Q. 23.00	Q. 59,524.00
TOTAL			Q. 141,144.00

(Precio ya incluye 12% IVA)

20 Calle 23-64 Zona 10
 Teléfono: (502) 2387-8000 Fax: (502) 2387-8080
www.praisal.com E-Mail ventas@praisal.com



Fuente: Proveedores y Asesores Andustriales, S. A.

Anexo 2. Hojas técnicas de fibra cerámica



Praisal
Proveedores y asesores industriales, S.A.

CERAMIC FIBER BLANKET





Item	Product	HT	HP	HZA	HZ	HTT
	Specification Temp(°C)	1200	1260	1300	1430	1600
	Working Temp(°C)	1050	1100	1200	1350	1530
	Color	white	white	white	white	white
	Density(lbs/ft ³)	4.6,8,10	4.6,8,10	4.6,8,10	4.6,8,10	8,8
	Kg/m ³	64,96,128,160	64,96,128,160	96,128,160	96,128,160	96,128
	Rate of Shrink(%) (24h, Density 128kg/m ³)	-3 (1050°C)	-3 (1100°C)	-3 (1250°C)	-4 (1350°C)	-1 (1500°C)
Thermal Conductivity (w/m.k) (Density 128kg/m ³)		0.09 (400°C)	0.09 (400°C)	0.132 (600°C)	0.70 (800°C)	0.76 (1000°C)
		0.170 (800°C)	0.170 (800°C)	0.22 (1000°C)	0.32 (1000°C)	0.32 (1000°C)
			0.32(1050°C)			
	Tensile strength(Mpa) (Density 128kg/m ³)	0.08-0.12	0.08-0.12	0.08-0.12	0.08-0.12	0.08-0.12
	Al2O3	45-48	47-49	49-49	39-40	75
	SiO2	50-51	47-50	49-50	38-45	24.5
	ZrO2	0	0	8-10	15-17	-
	Fe2O3<	0.2	0.2	0.2	0.2	-
	other	≤0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Size:	1/2"x24"x800", 1/2"x48"x800", 1"x24"x300", 1"x48"x300", 1.5"x24"x280", 1.5"x48"x280", 2"x24"x150", 2"x48"x150",				

20 calle 23-64 zona 10 Guatemala
Tel: 2387-8000
E-mail: ventas@inraisa.com

Fuente: Proveedores y Asesores Industriales, S. A.

Anexo 3. Cotización aceite térmico



DISTRIBUIDORA DE COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

GUATEMALA, 12 DE AGOSTO DE 2014

SEÑORES:
TEXTILES DEL SUR INTERNACIONAL S.A.
PRESENTE

ATT: SR. LEONEL LAZARO/JULIO TEVELAN

ESTIMADOS SEÑORES:

TENGO EL AGRADO DE SOMETER A SU CONSIDERACION LA COTIZACION DE LOS SIGUIENTES PRODUCTOS:

CANTIDAD	PRODUCTO	MARCA	PRECIO
01 TONEL	HEAT TRANSFER S2 (THERMIA B)	SHELL	Q 6,756.70
01 TONEL	THERM 603	MOBIL	Q 8,399.20

* ADJUNTO FICHAS TECNICAS.

DESEO RECORDARLES QUE GOZAN DE UN CREDITO DE 30 DIAS, Y QUE HAREMOS LLEGAR EL PRODUCTO A DONDE USTEDES LO INDIQUEN DENTRO DEL PERIMETRO DE LA CIUDAD SIN COSTO ADICIONAL

EN ESPERA DE SUS APRECIABLES ORDENES.

ATENTAMENTE,

SILVIA SOLIS
CEL. 52110980

7a Calle 10-26, Zona 11 Colonia Roosevelt, (cerca de los campos el Roosevelt) P.B.X...22451900

Fuente: distribuidores de combustibles y lubricantes.

Anexo 4. Hojas técnicas del aceite térmico



Technical Data Sheet

Previous Name: Shell Thermia B

Shell Heat Transfer Oil S2 High Performance Heat transfer fluid

• RELIABLE PERFORMANCE

Shell Heat Transfer Oil S2 is based on carefully selected, highly refined mineral oils chosen for their ability to provide superior performance in indirect closed fluid heat transfer systems.

Applications

- Enclosed circulated heat transfer systems for industrial applications such as process industry, chemical plants, textile producers etc. and in household equipment such as oil filled radiators. Shell Heat Transfer Oil S2 can be used in high temperature continuous heat transfer equipment with the following application limits:

Shell Heat Transfer Oil S2	
Max. film temperature	340°C
Max. bulk temperature	320°C

Performance Features and Benefits

- **Extended maintenance intervals**
Shell Heat Transfer Oil S2 is based on carefully selected highly refined mineral oils and resists oil cracking, oxidation and thickening. This provides extended oil life, provided efficient fluid heating and good pump circulation is ensured, such that film temperatures on the heater surface do not exceed the limits above.
- **System efficiency**
Low viscosity enables excellent fluidity and heat transfer over a wide temperature range. Shell Heat Transfer Oil S2 also has a low vapour pressure so resists cracking. This minimises the formation of volatile decomposition products; these would require recovery via expansion chamber and condensate collector.
- **Wear protection**
Shell Heat Transfer Oil S2 is non-corrosive and has high solvency - this reduces deposit formation by holding oxidation products in solution and keeping internal surfaces of heat exchangers clean.

Specification and Approvals

Classified as ISO 6743-12 Family Q
Meets typically DIN 51522 requirements

Advice

The life of Shell Heat Transfer Oil S2 depends on the design and usage of the system. If the system is well designed and not subjected to abnormal workloads, the life can be for many years.

It is important to monitor oil condition regularly as rates of change in physical characteristics are more significant than actual values. The properties that should be monitored are viscosity, acidity, flash point (open and closed) and insolubles content.

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell representative.

Health and Safety

Guidance on Health and Safety is available on the appropriate Material Safety Data Sheet which can be obtained from your Shell representative.

Protect the environment

Take used oil to an authorised collection point. Do not discharge into drains, soil or water.

Continuación de anexo 4.

Technical Data Sheet

Typical Physical Characteristics

Density at 15 °C	kg/m ³	ISO 12185	866
Flash Point PMCC	°C	ISO 2719	210
Flash Point COC	°C	ISO 2592	220
Fire Point COC	°C	ISO 2592	255
Pour Point	°C	ISO 3016	-12
Kinematic Viscosity		ISO 3104	
at 0 °C	mm ² /s		1.51
at 40 °C	mm ² /s		25
at 100 °C	mm ² /s		4.7
at 200 °C	mm ² /s		1.1
Initial Boiling Point	°C	ASTM D 2887	355
Autoignition Temperature	°C	DIN 51794	360
Neutralisation Value	mgKOH/g	ASTM D974	< 0.05
Ash (Oxid)	%m/m	ISO 6245	< 0.01
Carbon Residue (Conradson)	%m/m	ISO 10370	0.02
Copper Corrosion (3h/100°C)		ISO 2160	class 1

These characteristics are typical of current production. Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

Typical Design Data

Temperature	°C	0	20	40	100	150	200	250	300	340
Density	kg/m ³	876	863	850	811	778	746	713	681	655
Specific Heat Capacity	kJ/kg·K	1.809	1.882	1.954	2.173	2.355	2.538	2.72	2.902	3.048
Thermal Conductivity	W/m·K	0.136	0.134	0.133	0.128	0.125	0.121	0.118	0.114	0.111
Prandtl No.		3375	919	375	69	32	20	14	11	9

Shell Lubricants

Page 2 of 2

August 2010

Fuente: distribuidores de combustibles y lubricantes.

